

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF

THESE

Présentée à la faculté des sciences
Département de Biologie

Pour l'obtention du diplôme

Doctorat d'Etat en Biologie
Option : Microbiologie

par

AISSAT KAMEL

Etat sanitaire de la culture de la tomate sous serre et
étude épidémiologique de *Botrytis cinerea*
(Agent de la pourriture grise)

Soutenue le : 29/12/2008

Devant le jury :

Président : Dr BOUZERZOUR H. Professeur, Université Ferhat
ABBAS Sétif

Rapporteur : Dr GUECHI A. Professeur, Université Ferhat ABBAS Sétif

Co-rapporteur Dr CHIBANE M. Professeur, Université A/ MIRA, Béjaïa

Examineurs :

Mr BENSOLTANE A. Professeur, Université Essénia, Oran

Mr HARZALLAH D. Maître de conférences, Université Ferhat
ABBAS Sétif

Invités Mr DEHIMI Maître de conférences, Université Mentouri
Constantine

Mr NICOT P.C. INRA Montfavet, France

Avant propos

Tout acte de recherche n'étant que la concrétisation personnelle d'un travail collectif, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation

Mes premiers remerciements vont aux agriculteurs de la région de Boukhlifa et de Tichy, qui m'ont permis de réaliser l'expérimentation sur leur exploitation agricole (EAI). Sans leur collaboration ce travail n'aurait jamais vu le jour. Ils ont accepté de programmer la récolte et l'irrigation en fonction du protocole de notation. J'espère que ce travail contribuera à maîtriser les pertes occasionnées par le Botrytis.

Mr Nicot PC pour la patience et l'intérêt qu'il a manifesté pour ce travail et surtout pour m'avoir initié aux principes de l'épidémiologie végétale. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance.

Mr Guechi Abdelhadi qui n'a jamais cessé de m'encourager à finaliser ce travail, qui a toujours été présent et sensible à toutes mes sollicitations.

Mr Bardin M. pour sa contribution dans le traitement des résultats durant de longues heures et pour sa disponibilité lors de mes déplacements à l'INRA d'Avignon.

Mr Chibane M et Mr Benallaoua qui ont contribué à la mise en place de la collaboration avec l'équipe de mycologie dirigée par Mr Nicot.

Au personnel de la station de pathologie végétale de l'INRA d'Avignon pour l'accueil qu'ils m'ont réservé.

Mr BOUZERZOUR H., Professeur à l'Université Ferhat ABBAS Sétif, de m'avoir fait l'honneur de présider le Jury et d'apporter un éclairage sur ce travail.

Mr BENSOLTANE A., Professeur à l'Université Essénia, Mr HARZALLAH D. Maître de conférences à l'Université Ferhat ABBAS Sétif et Mr DEHIMAT L. Maître de conférences à l'Université MENTOURI de Constantine pour avoir accepté de juger ce travail

Mr Zerroug M.M., de l'Université de Sétif pour son soutien et son aide qui m'a été précieuse. A travers Zerroug, c'est la toute la promotion 88 (la seule !) de Phytopathologie, que je remercie.

A celui qui m'a initié au diagnostic des maladies sur le terrain et à la phytopathologie : Rouxel Francis. Il n'a jamais cessé de m'encourager dans la poursuite de mon travail de thèse et de recherche.

A Zahia pour son aide tout au long de ce travail et pour avoir supporté mes absences et surtout d'avoir tout fait pour réunir les conditions sans lesquelles ce travail n'aurait pas abouti.

A Melle Akir d'avoir minutieusement relu ce manuscrit et pour sa disponibilité tout au long de sa rédaction.

Enfin, à tous les collègues du Laboratoire de Mycologie Appliquée de l'Université Abderrahmane Mira de Béjaia.

A toutes et à tous mes collègues de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia, qui m'ont poussé à finaliser ce travail.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale2

Chapitre I. Synthèse bibliographique

I. Généralités sur les cultures légumières en Algérie	
et leur importance	6
II. La culture de tomate.....	7
II.1. Historique	7
II.2. Importance économique et nutritionnelle	7
II.3. Zones de production en Algérie	9
II.4. Caractéristiques des principaux systèmes de culture	10
III. Principales maladies parasitaires de la tomate.....	11
IV. La pourriture grise de la tomate.....	13
IV.1. Présentation de l'agent pathogène et des symptômes	13
IV.2. Position systématique	14
IV.3. Influence du microclimat sur le développement de <i>B.cinerea</i>	15
IV.4. Effet de l'humidité et de la température	17
IV.5. Influence du système de culture sur le développement de la maladie.....	20
IV.6. Autres facteurs influençant le développement de B. cinerea	21
IV.6. 1. Nutriments disponibles et compétition avec la microflore.....	21
IV.6. 2. Influence de la qualité de lumière	22

V. Méthodes de lutte contre la pourriture grise	23
V.1. Lutte chimique	23
V.2. Lutte culturale	26
V.2.1. Lutte climatique.....	26
V.2.2. Films photo-sélectifs.....	28
V.3. Autres méthodes de lutte culturale	28
V.4. Lutte biologique	29
V.4. 1. Lutte contre l'infection.....	29
V.4. 2. Lutte contre la dissémination	30
V.4. 3. Lutte contre les structures de survie	30
VI. Influence du système d'irrigation sur le développement des maladies.....	30

Chapitre II. Etat Sanitaire et Incidence des Maladies Dues aux Champignons

Introduction	33
I. Matériels et méthodes.....	33
I.1. Situation géographique.....	33
I.2. Choix de la zone d'étude.....	34
I.3. Protocole de l'étude	35
I.3.1. Identification des maladies	36
I.3.1.1. Observation description et répartition des symptômes	36
I.3.1.2. Prélèvement des échantillons pour une analyse au laboratoire	37
I.3.1.3. Isolement au laboratoire	37
I.3.2. Méthode de quantification des maladies	38
I.3.3. Enquête sur les pratiques culturales.....	39

II. Résultats et discussion	40
II.1. Identification des maladies.....	40
II.1.1. La Cladosporiose	40
II.1.2. L'Alternariose.....	42
II.1.3. La Pourriture grise	42
II.1.4. Pourriture blanche	45
II.1.5. Le Mildiou.....	45
II.1.6. L'Oïdium ou Blanc	48
II.2. Quantification de l'incidence des maladies sur la culture de tomate	50
II.3. Influence des pratiques culturales et de position géographique sur le développement des maladies.....	52
III. Conclusion	53

**Chapitre III. Etude de l'influence du système d'irrigation et de la
disposition spatiale sur le développement épidémique de *Botrytis
cinerea* sur la culture de tomate sous serre**

Introduction	56
I. Matériels Méthodes	58
I.1. Site expérimental	58
I.2. Conduite de la culture	58
I.3. Protocole expérimental	59
I.4. Analyses statistiques	60

II. Résultats et Discussion.....	61
II.1. Effets du système d’irrigation sur la cinétique et sur la précocité des attaques	61
II 2. Effet du système d’irrigation sur la mortalité	64
II 3. Effet du système d’irrigation sur la sévérité des attaques sur tiges	65
II 4. Hétérogénéité spatiale des attaques dans les tunnels.....	66
III. Conclusion	71
 Chapitre IV : Discussion générale Bilan des Travaux et Perspectives	
I. Bilan des travaux	74
I.1. Situation phytosanitaire de la culture de tomate sous abris à Béjaïa.....	74
I.2. Relation entre l'environnement cultural et la situation phytosanitaire	76
I.3. Gestion des épidémies de <i>B. cinerea</i>	79
II. Perspectives	79
II.1. Poursuite et amélioration du diagnostic phytosanitaire.....	80
II.2. Amélioration des pratiques culturales	80
II.3. Pistes pour de futures recherches	82
Conclusion générale	84
Références bibliographiques.....	86
Annexes	93

Liste des figures

Figure 1 : Répartition de la surface agricole selon les cultures	6
Figure 2 : Carte géographique de la wilaya de Bejaia	34
Figure 3 : Situation géographique des sites du suivi phytosanitaire	35
Figure 4 : Incidence et évolution des attaques sous serre durant la saison 2003	51
Figure 5 : Incidence et évolution des attaques sous serre durant la saison 2004	52
Figure 6 : Serre non chauffée de tomate mettant en évidence les ouvertures latérales obtenues par écartement des bâches pour l'aération passive.	58
Figure 7 : Représentation Schématique d'une serre montrant les 7 rangées de plantes (chaque plant est représenté par un petit rectangle) et les 5 parcelles (A à E).	60
Figure 8 : Cinétique de l'incidence de la maladie sur feuilles (A), tiges(B) et sur les fruits (C) de la tomate sous serre selon le type d'irrigation.....	62
Figure 9: Cinétique de la mortalité des plantes causée par la pourriture grise selon le type d'irrigation	65
Figure 10: Evolution de la sévérité des attaques sur tige selon le type d'irrigation.....	66
Figure 11: Cinétique de l'incidence de la maladie sur feuilles (A), tiges(B) et sur les fruits (C) de la tomate sous serre selon la disposition des attaques par parcelle.	68
Figure 12 : Répartition comparée de la mortalité par parcelle et par type d'irrigation	70
Figure 13: Répartition en pourcentage des plantes mortes par parcelle et par système d'irrigation	71

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition de la production mondiale de la tomate par pays	8
Tableau 2 : Valeur nutritionnelle de la tomate rouge	9
Tableau 3 : principales maladies bactériennes, fongiques et virales de la tomate	12
Tableau 4 : Position systématique de <i>Botrytis cinerea</i>	15
Tableau 5 : Données bibliographiques sur les conditions microclimatiques nécessaires à la formation des lésions de <i>B.cinerea</i> sur différents hôtes.....	16
Tableau 6 : Echelle de notation de l'incidence des maladies dans une serre.....	38
Tableau 7 : Effet du système d'irrigation sur la cinétique du développement de la maladie	61
Tableau 8 : Effet du système d'irrigation sur la précocité des attaques selon le type d'organe	64
Tableau 9 : Hétérogénéité du développement de la maladie et de la mortalité des plantes selon la disposition spatiale des parcelles dans les tunnels.....	69

Liste des Planches

Planche 1 : Cladosporiose de la tomate	41
Planche 2 : Alternariose de la tomate (Early blight).....	43
Planche 3 : Pourriture grise	44
Planche 4 : Pourriture blanche	46
Planche 5 : Le mildiou	47
Planche 6 : Oïdium de la tomate ou Blanquet	49

Introduction générale et objectifs de l'étude

Introduction générale

Le but historique de l'agriculture a toujours été de produire, afin de subvenir aux besoins nutritionnels de la population. Par sa modernisation et par l'intégration de progrès techniques, elle a pu atteindre cet objectif dans beaucoup de pays. L'une des techniques culturale utilisée est la culture sous abri plastique (appelée communément culture sous serre). Cette technique de culture est basée sur la protection des plantes contre les contraintes environnementales (basses températures, gel,...) tout en offrant les conditions optimales pour la croissance des plantes, et elle est adaptée au climat méditerranéen. Les statistiques mondiales démontrent que les superficies couvertes sont de plus en plus importantes (Données FAO, 2006).

En Algérie, la culture de la tomate sous abri plastique occupe une place prépondérante dans l'économie nationale, tant sur le plan des superficies que sur le plan de la production. L'introduction de ce type de culture remonte à la fin des années 70, et se fixait pour principal objectif l'augmentation des rendements des cultures afin de faire face à la demande sans cesse grandissante en légumes frais.

Au cours de son cycle végétatif, cette culture est continuellement menacée par les différentes maladies et ravageurs (Jones et al, 1991) qui affectent aussi bien la qualité que la quantité de production. Parmi les ennemis de cette culture, on cite le mildiou, l'oïdium, la pourriture grise, et la mineuse. Cette situation, se trouve aggravée par le fait que le système de production sous serre se caractérise par l'absence de jachère et par une rotation d'espèces végétales peu diversifiées, ce qui entraîne la multiplication et l'aggravation des problèmes phytosanitaires.

Avant d'envisager toute intervention dans le contrôle des maladies, il est important de les identifier, de les quantifier et de comprendre le déroulement des épidémies dans chaque contexte agricole. En Algérie, les données concernant les maladies sous serre ne sont pas connues des agriculteurs. Cette méconnaissance est à l'origine d'une mauvaise utilisation des produits phytosanitaires (mauvais choix des molécules, surdosage...), ce qui a généré des problèmes en relation avec l'efficacité des traitements et une utilisation excessive de pesticides.

L'une des principales pathologies sur la culture de la tomate sous serre en Algérie (Aissat, 2000) et dans le monde est la pourriture grise, causée par *Botrytis cinerea*. Parasite de faiblesse, *Botrytis cinerea* attaque toutes les parties aériennes de la tomate (fruit, feuille, fleur et tige), causant des dommages considérables.

Ces dernières années, les agriculteurs ont été confrontés à la perte d'efficacité de beaucoup de molécules (fongicides), jusque là efficaces dans la lutte contre cette maladie. Le problème majeur de l'inefficacité de la lutte chimique réside dans la capacité du *B. cinerea* à développer des souches résistant aux différents groupes de fongicides. D'où, la nécessité de développer de nouvelles méthodes de lutte contre cette maladie.

Les travaux de recherches actuels dans le monde se focalisent sur la lutte alternative aux produits chimiques. Trois concepts ont émergé les cinquante dernières années : **La lutte intégrée** visant à restreindre les organismes nuisibles à des niveaux économiquement acceptables (*vs* éradication) en "intégrant" des méthodes de lutte compatibles avec les organismes ; **la protection intégrée** qui est une stratégie visant à la gestion équilibrée de la protection phytosanitaire à la fois par des moyens directs (lutte chimique, biologique) et indirects (mesures phytotechniques, fertilisation, variétés, ...) ; et plus récemment **la production intégrée**, système de production d'aliments et des autres produits de haute qualité, qui utilise des ressources et des mécanismes de régulation naturels pour remplacer des apports dommageables à l'environnement et qui assure à long terme une **agriculture viable**. Mais ce n'est qu'à partir de la conférence de RIO (1992) que le concept d'**agriculture durable** a fait son émergence. Il se traduit par la mise en œuvre de systèmes intégrés basés sur une réduction de l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation (produits chimiques...) et en valorisant au mieux les ressources naturelles et en mettant à profit des processus naturels de régulation (Nicot 2008).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude dont les objectifs sont :

- L'établissement d'un bilan des problèmes phytosanitaires sévissant sur la culture de tomate sous serre.
- La Quantification comparée des pathologies et l'analyse de leur évolution au cours des saisons culturales.

- Mesurer l'impact des pratiques culturales sur le développement des maladies.

Pour sa réalisation, une démarche par étape s'est avérée nécessaire :

- ✓ Dans un premier temps, nous avons étudié les conditions de culture à travers une enquête auprès des producteurs de la wilaya de Béjaïa, pour caractériser les conduites culturales.
- ✓ Dans un second temps, nous avons procédé à l'étude des affections rencontrées lors de la prospection de la zone étudiée, durant deux saisons culturales. Cette étape comprend une étude des symptômes, l'identification des agents pathogènes, et des notations en vue d'une quantification.
- ✓ Dans un troisième temps (saison culturale de 2004 à 2005), nous avons entrepris une étude épidémiologique sur *Botrytis cinerea*.

Pour finir, nous dresserons un bilan de notre travail et nous tenterons de dégager des pistes pour une amélioration de la production de la tomate en Algérie, basée sur l'utilisation des pratiques culturales en vue d'un développement durable.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I. Généralités sur les cultures légumières en Algérie et leur importance

Les cultures légumières ont de tout temps revêtu une importance particulière dans l'alimentation et l'économie de tous les peuples. Les plus répandues, les Solanées et les Cucurbitacées, se cultivent dans différents tes régions du monde et sont exposées à plusieurs types de climats.

En Algérie, la place réservée aux produits légumiers dans la consommation locale et la croissance démographique (2,1 par an) obligent à augmenter de manière significative la production. Cet objectif est plus au moins atteint par une extension des superficies qui leur sont consacrées. Elles occupaient une surface de 193390 ha en 1978 pour atteindre 270000 ha en 1984 et représentent actuellement 28% des surfaces cultivables dont 5% sont réalisées sous serre (figure 1).

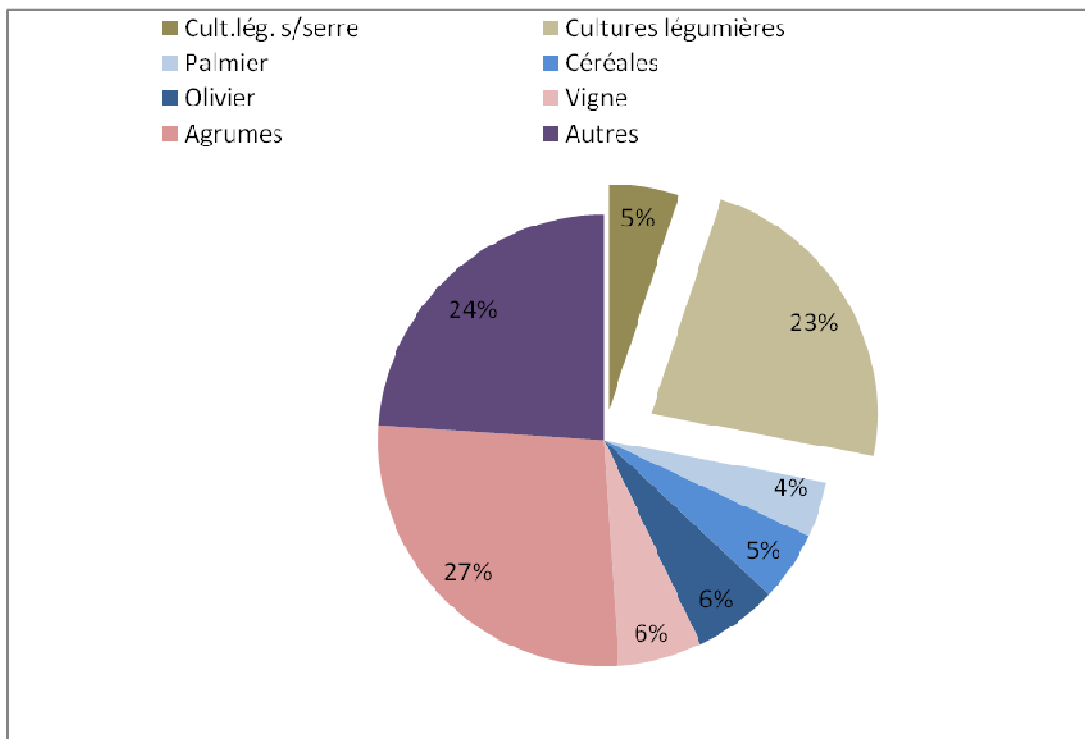


Figure 1: Répartition de la surface agricole selon les cultures, Anonyme (2006)

Cependant, le développement des cultures légumières est limité par les faibles disponibilités hydriques et par le processus de désertification qui altère d'année en année les surfaces agricoles jadis fertiles. Face à ces contraintes et encouragée par l'élan de

l'industrialisation des années 70, la culture protégée ou plasticulture a été introduite en Algérie. Mais ce n'est que dans les années 80 que cette technique a pris de l'ampleur pour représenter 5% des surfaces réservées aux cultures légumières. L'objectif de cette technique de culture est d'augmenter les rendements pour satisfaire la demande sans cesse grandissante.

II. La culture de tomate

II.1. Historique

La tomate est une plante herbacée annuelle à port rampant, aux tiges ramifiées. De la famille des Solanacées, la tomate est désignée sous le nom scientifique de *Solanum lycopersicum* Linné. Elle a aussi été appelée *Lycopersicon esculentum*. Cependant, des études récentes en génomique classent la tomate dans le genre *Solanum*, le même que celui de la pomme de terre, et qui compte plusieurs variétés. La tomate cultivée, est originaire de l'Amérique du Sud (Pérou). Les premiers cultivars ont été introduits en Europe au XVI^e siècle, mais c'est seulement au XIX^e siècle que la culture de la tomate s'est réellement répandue.

II.2. Importance économique et nutritionnelle

La tomate est cultivée dans presque tous les pays du monde. C'est par son volume de production, qu'elle est classée troisième "légume" au plan mondial, après la pomme de terre et la patate douce. La répartition de la production mondiale par pays est représentée dans le tableau 1. Selon les données de la FAO (2006) la production algérienne représente 1% de la production mondiale, dont 30% de la production mondiale est réalisée en méditerranée.

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine. Elle est utilisée fraîche, en salade et en jus, ou transformée, sous forme de purée, de concentré, de condiment et de sauce. Des industries de transformation de la tomate sont implantées dans toutes les régions du monde et sont approvisionnées par des milliers d'hectares de culture mécanisée. La tomate occupe une grande place dans les traditions culinaires de notre pays.

Elle est utilisée à l'état frais et sous forme de concentré. Le tableau 2 montre la composition et la valeur alimentaire de la tomate fraîche.

Tableau 1 : Répartition de la production mondiale de la tomate par pays

(Données FAO stat., 2006)

Pays	Production (t) 20004	pourcentage	Production en tonnes 2005	pourcentage
Chine	30 143 929,00	24 %	31 644 040,00	26 %
États-Unis	12 867 180,00	10 %	11 043 300,00	9 %
Turquie	9 440 000,00	8 %	9 700 000,00	8 %
Égypte	7 640 818,00	6 %	7 600 000,00	6 %
Inde	7 600 000,00	6 %	7 600 000,00	6 %
Italie	7 682 504,00	6 %	7 187 016,00	6 %
Espagne	4 441 800,00	4 %	4 473 573,00	4 %
Brésil	3 515 567,00	3 %	3 303 530,00	3 %
Mexique	2 148 130,00	2 %	2 148 130,00	2 %
Russie	2 017 860,00	2 %	2 100 000,00	2 %
Grèce	1 932 000,00	2 %	1 713 580,00	1 %
Chili	1 200 000,00	1 %	1 230 000,00	1 %
Maroc	1 201 230,00	1 %	1 201 230,00	1 %
Ukraine	1 145 700,00	1 %	1 200 000,00	1 %
Portugal	1 200 930,00	1 %	1 175 000,00	1 %
Irak	988 000,00	1 %	1 000 000,00	1 %
Algérie	1092273,00	1 %	1023445,00	1 %
Syrie	920 000,00	1 %	920 000,00	1 %
Tunisie	1 118 000,00	1 %	920 000,00	1 %
Autres pays	21 780 606,00	18 %	20 752 357,00	17 %
Total	124 429 724,00	100 %	122 311 756,00	100 %

Tableau 2 : Valeur nutritionnelle de la tomate rouge

Composition	Valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g
Eau	94,5 g
Valeur calorique	18 kcals
Protides	0,9 g
Glucides	2,8 g
Lipides	0,2 g
Provitamine A	0,38 mg
Vitamine B1	0,06 mg
Vitamine B2	0,04 mg
Vitamine B6	0,11 mg
Vitamine C	15 mg
Vitamine PP	0,7 mg
Fer	0,4 mg
Calcium	10 mg
Magnésium	10 mg
Phosphore	24 mg
Potassium	280 mg
Sodium	1,2 mg
Fibres	riches

II. 3. Zones de production en Algérie

La répartition géographique des cultures légumières est tributaire des conditions climatiques d'une part, et de la vocation des terres d'autre part. Les zones réservées aux cultures légumières sont concentrées au niveau :

- Des plaines du littoral à climat tempéré : Algérois, Bejaia, Oran, Annaba, Skikda. Ces plaines concentrent plus de 70% de la production nationale et les surfaces qui leur sont destinées ne cessent d'augmenter, particulièrement sous abris plastique.
- Des plaines de l'intérieur à climat semi aride : Chélif ; les surfaces pour les cultures légumières sous abris ont diminué ces dernières années à cause du coût du chauffage qui est indispensable.
- Le Sud à climat aride (Biskra...) : c'est dans ces régions que les investissements ont été les plus importants, du fait du climat qui permet d'avoir des récoltes en Janvier.

Au niveau de la wilaya de Béjaïa, 2265 ha sont affectés pour la culture de 14 espèces légumières. Les plus importantes sont la pomme de terre suivie par la culture de tomate, qui occupe à elle seule plus de 15% des surfaces réservées aux cultures légumières. Les cultures protégées (sous serre) sont en continuelle progression. Les surfaces couvertes pour la culture de la tomate sont passées de 10% en 2000 à plus de 17% en 2006 des surfaces destinées à cette espèce. Plus de 40% des surfaces couvertes sont occupées par la tomate.

II. 4. Caractéristiques des principaux systèmes de culture

Les cultures de plein air représentent actuellement 40% de la surface de la culture de la tomate en Algérie. Depuis 1980, les surfaces destinées à ce système de culture ne cessent de diminuer. En revanche, le nombre de cultures sous abris a eu tendance à augmenter en moyenne de 4% (Benhamou, 1990 ; Anonyme, 2006). L'utilisation d'abris présente l'avantage de pouvoir contrôler, dans une certaine mesure, le milieu, ce qui permet l'obtention de cultures précoces ainsi que la prolongation de la durée de production. Deux systèmes d'abris peuvent être distingués : les serres en verre et les abris en plastique, chacun ayant des caractéristiques particulières.

✓ Serres en verre :

Ce type de serre nécessite un investissement assez lourd. Les équipements disponibles permettent le contrôle des paramètres climatiques tels que la température et l'aération (Boulard et al., 1991), ainsi que des paramètres de fertilisation (fertirrigation). C'est dans ce type de serre que les cultures hors sol sont réalisées. En Algérie, les serres en verre ne sont pas répandues. Ce type d'abris est majoritaire dans les pays d'Europe du nord et des pays froids en général.

✓ Tunnel plastique ou abri plastique:

La mise en place des abris plastiques nécessite un investissement à la mise en place moins lourd que les serres en verre. Elles sont constituées d'une charpente métallique recouverte de plastique de dimension variable. La maîtrise de l'environnement sous tunnel plastique est plus limitée que sous serre en verre. Dans ces systèmes, les fluctuations de températures et l'humidité relative sont les facteurs limitant la culture (Meneses et al., 1994). Au printemps, la culture sera défavorisée par de fortes humidités

relatives et de basses températures nocturnes. En été, ce sont les températures élevées qui poseront problème (Abreu et al., 1999 ; Barroso et al., 1999). Le contrôle de l'humidité relative dans les tunnels est effectué par aération naturelle. La type de tunnel et la position des ouvrants dans ces tunnels jouent un rôle important sur la méthode et la capacité d'aération de la culture. Les tunnels plastiques représentent actuellement plus de 60 % de la production de la tomate fraîche destinée à la consommation à longueur d'année grâce à la diversité climatique de l'Algérie. En automne et hiver les productions proviennent du sud (Région de Biskra...) au printemps et été l'approvisionnement du marché est assuré par les plaines côtières.

III. Principales maladies parasitaires de la tomate

Les maladies de la tomate sont nombreuses. Tous les organes peuvent être touchés, des racines jusqu'aux fruits. Les principales maladies bactériennes, fongiques et virales ainsi que les organes affectés sont présentés dans le tableau 3. Les informations disponibles sur la situation phytosanitaire de la culture de tomate en Algérie sont très peu nombreuses et seuls les travaux rentrant dans le cadre des projets de fin d'étude (ingénieur agronome, DES, EUA) en font mention sans qu'elles soient pour autant être signalées dans la littérature internationale. On peut noter que toutes les informations recueillies auprès des services de la protection des végétaux et des instituts spécialisés dans le développement des cultures maraîchères mentionnent la prédominance des maladies fongiques.

Tableau 3 : principales maladies bactériennes, fongiques et virales de la tomate
(Blancard, 1988)

Pathogènes	Maladie	Symptômes observés sur				
		Racine	Tige	Feuille	Fruits	
BACTERIES						
<i>Clavibacter michiganensis</i>	Chancres bactérien		+	+	+	
<i>Pseudomonas corrugata</i>	Moelle noire		+			
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i>	Gale bactérienne			+	+	
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	Moucheture			+	+	
CHAMPIGNONS						
<i>Alternaria dauci</i> f. <i>sp. solani</i>	Alternariose			+	+	
<i>Botrytis cinerea</i>	Pourriture grise			+	+	
<i>Colletotrichum coccodes</i> et <i>C. atramentarium</i>	Anthraxose et nécrose racinaire	+		+	+	
<i>Didymella lycopersici</i>	Chancres à <i>Didymella</i>			+	+	
<i>Leveillula taurica</i> et <i>Oidium lycopersicum</i>	<i>Oidium</i>			+	+	
<i>Fulvia fulva</i>	Cladosporiose			+	+	
<i>Fusarium oxysporum</i> f. <i>sp. lycopersici</i>	Fusariose vasculaire			+		
<i>Phytophthora infestans</i>	Mildiou			+	+	
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Chancres à <i>Sclerotinia</i>			+	+	
<i>Stemphylium</i> spp.	Stemphyliose				+	
<i>Verticillium dahliae</i> et <i>V. albo-atrum</i>	Verticilliose (maladie vasculaire)			+		
<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	Corky root	+				
<i>Spongospora subterranea</i>	Galle racinaire	+				
<i>Fusarium oxysporum</i> f. <i>sp. radicis-lycopersici</i>	Pourriture des racines	+			+	
<i>Phytophthora nicotianae</i> var. <i>parasitica</i>	Chancres du collet			+		
<i>Rhizoctonia solani</i>	Altération des racines et du collet	+		+	+	
VIRUS						
Virus de la Mosaïque du Concombre (CMV)	Filiformisme, nécrose et mosaïque			+	+	
Virus de la Mosaïque du Tabac (TMV)	Mosaïque de la tomate			+	+	
Virus Y de la pomme de terre (PVY)	Mosaïque et taches nécrotiques de la tomate			+	+	
Virus de la Mosaïque de la Luzerne (AMV)	Mosaïque nécrotique de la tomate			+	+	
Virus des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV)	Feuilles jaunes en cuillère			+	+	

D'après Maladies de la tomate, D. Blancard, 1988 et Compendium of tomato diseases J.B. Jones and J.P. Jones 1991

IV. La pourriture grise de la tomate

Les maladies dues au genre *Botrytis* sont certainement les plus communes et les plus largement répandues sur cultures maraîchères, ornementales et sur fruits. Ce sont les maladies les plus courantes au niveau des cultures sous abris (Agrios, 1988). Parmi les espèces du genre *Botrytis*, certaines possèdent une gamme d'hôtes restreinte, telles que *B.elliptica* (lys), *B.fabae* (haricot) ou *B.squamosa* (oignon). Par contre, *B.cinerea* est l'espèce qui possède le plus large spectre d'hotes, puisqu'elle peut infecter plus de 200 espèces végétales différentes (Jarvis, 1992). Ce champignon est responsable de lourdes pertes économiques sur de nombreuses cultures (Gullino, 1992).

IV. 1. Présentation de l'agent pathogène et des symptômes

Botrytis cinerea est un champignon de la classe des Deutéromycètes (Ordre des Moniliales, Famille des Sclérotiniacées). Il possède une forme sexuée ou téléforme, *Botryotinia fuckeliana* (de Bary), est rarement observée dans la nature, mais qui peut être obtenue en laboratoire (formation d'ascospores). C'est la forme asexuée, ou anamorphe, *B.cinerea*, qui est prédominante et associée à la pourriture grise sur tomate.

Sur la culture de tomate, *B.cinerea* est capable d'attaquer l'ensemble des parties aériennes de la plante.

- Sur fleurs, toutes les parties non permanentes telles que le stigmate, le style et la corolle peuvent être infectées par l'agent pathogène. Le mycélium peut ensuite progresser vers les parties permanentes (ovaire et pédicelle) et provoquer l'avortement des fleurs et la chute prématurée des jeunes fruits (Eden et al., 1996).
- Sur feuilles, des lésions nécrotiques peuvent se développer soit sous forme d'anneaux concentriques autour du point d'infection soit en forme de flamme le long de la nervure central. En cas d'attaque sévère, des lésions sur feuilles se

- développent aussi par contact direct avec des tissus infectés (résidus floraux, autres feuilles, fruits, ...). Ces lésions peuvent progresser des folioles vers les pétioles et atteindre les tiges au niveau desquelles elles donneront naissance à un chancre.
- Les attaques sur tiges peuvent être liées à une infection indirecte via la progression d'une lésion sur les pétioles ou les rafles de bouquets, mais elles peuvent aussi être directes via les plaies d'effeuillage et d'ébourgeonnage (Shtienberg et al., 1998 ; Verhoeff, 1967). Ces plaies sont liées aux pratiques culturales nécessaires à la conduite des cultures sous abris. Les plants de tomates cultivés sous abris sont palissés sur ficelles et périodiquement abaissés (couche sur sol ou sur des supports). Pour permettre cette intervention ainsi que la maturation des fruits, les feuilles de la base des tiges sont retirées au minimum une fois par mois. Le développement des chancres le long des tiges peut entraîner la mort des plantes.
- Les symptômes sur fruits sont de deux types. On peut observer des halos jaunâtres appelés taches fantômes sont observés lorsque l'infection a été initiée mais stoppée par les mécanismes de défense de l'hôte, ou encore une pourriture mole. Celle-ci peut avoir différentes origines : parfois, elle est causée par la progression d'une infection via les sépales ; à l'infection au niveau d'une blessure, ou encore au contact du fruit avec des feuilles ou d'autre fruits infectés. L'importance relative et la gravité de ces symptômes sur les différents organes de la plante sont fortement influencées par les conditions environnementales et culturales (Shtienberg et al., 1998).

IV.2. Position systématique

C'est sous sa forme imparfaite, *Botrytis cinerea*, que ce champignon provoque la pourriture grise (Grey mould) sur plusieurs espèces végétales. La reproduction asexuée

conduit à la formation de spores, très nombreuse et volatiles, qui assure la dissémination et la contamination. Sa forme parfaite ou sexuée, *Botryotinia fuckeliana*, joue un rôle important dans sa conservation sous forme de sclérotés. La classification de ce pathogène est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Position systématique de *Botrytis cinerea* (Barnett et Hunter, 1998)

Super-classe	Septomycètes	Septomycètes
Classe	Adélomycètes	Ascomycètes
Sous-classe		Discomycètes
Ordre	Moniliales	Pézizales
Famille	Moniliacées	Hélotiacées
Genre	<i>Botrytis</i>	<i>Botrytinia</i>
Espèce	<i>cinerea</i>	<i>fuckeliana</i>
Identification microscopique	Conidiophores et conidies	Apothécie

IV.3. Influence du microclimat sur le développement de *B.cinerea*

Le développement de *B.cinerea* est dépendant des conditions environnementales. De façon générale, les fortes humidités relatives, la présence d'eau à la surface des plantes et les températures modérées sont reconnues comme étant les principaux facteurs favorisant le développement de la pourriture grise (Blakeman, 1980 ; Elad, 1989). L'étude de l'influence des différents paramètres climatiques sur les phases du développement de l'agent pathogène et sur l'évolution de la maladie a fait l'objet de nombreux travaux. Une synthèse est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Données bibliographiques sur les conditions microclimatiques nécessaires à la formation des lésions de *B.cinerea* sur différents hôtes.

Conditions d'humidité							
Organe	Hôte	Pathogène	Humidité	durée (heures) (a)	Température	Auteurs	
					Conditions Optimales	Conditions défavorables (b)	
FEUILLE	Haricot	<i>B. cinerea</i>	>90%	nd	20 à 28°C	24°C / 100% HR	Hausbeck and Perryacker, 1991
	Oignon	<i>B. squamosa</i>	humectation	6	15 à 20°C	20°C / 12 h humectation	25°C ou moins de 6h d'humectation Ademan and Lucy, 1983
	Fraisier	<i>B. cinerea</i>	humectation	8	5 à 30°C	20°C / 24 h humectation	5 et 30°C Bulger et al., 1987
FLEUR	Gerbera	<i>B. cinerea</i>	humectation	5	4 à 25°C	18 à 25°C	30°C Salinas et al., 1989
	Rose	<i>B. cinerea</i>	>94%	nd	15°C (c)	97 à 100% HR	<94% HR Williamson et al., 1995
	Tomate	<i>B. cinerea</i>	56 à 100%	0 à 36	15 à 25°C	20°C / 100% HR	15°C / 56% HR Eden et al., 1996
	Tomate	<i>B. cinerea</i>	56 à 100%	pas d'effet	15 à 25°C	15°C	25°C ou moins de 6h d'humectation Eden et al., 1996
TIGE	Tomate	<i>B. cinerea</i>	0,2 à 1,3 kPa	nd	5 à 28°C	15°C	26°C O'Neill et al., 1997
	Concombre	<i>B. cinerea</i>	>80%	nd	nd	11 à 25°C	Yunis et al., 1990
FRUIT	Concombre	<i>B. cinerea</i>	>97%	nd	11 à 16°C	11 à 16°C	Yunis et al., 1990

nd: non déterminé lors de l'expérimentation effectuée
a: durée minimale des conditions d'humidités favorables pour l'obtention des lésions
b: lésions rares ou absentes
c: seule température d'inoculation appliquée lors de l'expérimentation

IV. 4. Effet de l'humidité et de la température sur les phases de développement de *B. cinerea*

Les **conidies** sont généralement considérées comme des organes possédant une courte durée de vie. Cependant, il a été montré à plusieurs reprises que leur important potentiel de survie, est influencé par les conditions environnementales (Coley-Smith *et al.*, 1980). Ainsi, les travaux de Coley-Smith montrent que conidies de *B. tulipae* sont capables de survivre dans un sol humide pendant 6 mois dans des températures inférieures à 10°C. Ces travaux suggèrent que les températures élevées ont un effet négatif sur la survie des conidies. En effet, le taux de survie des conidies de *B. cinerea* est plus élevé à 0°C qu'à 20°C indépendamment de l'humidité relative. L'humidité relative influence aussi la survie. *In vitro*, les conidies conservées à 20°C avec une humidité de 99% survivent jusqu'à 3 mois alors que pour une humidité relative de 85% le temps de survie est inférieur à 1 mois (O'Neil, 1998). En conditions sèches, le temps de survie peut être très élevé. Ainsi, des conidies de *B. cinerea* peuvent survivre pendant 14 mois lorsqu'elles sont maintenues en conditions sèches, à température ambiante (Kerssies, 1993). En revanche, exposées à des conditions environnementales fluctuantes, cette capacité peut décroître de manière remarquable. Une expérimentation effectuée en Nouvelle Zélande a permis de suivre l'évolution de la viabilité (taux de germination) et de la vigueur (longueur du tube germinatif ou capacité d'infecter l'hôte) des conidies de *B. cinerea* pendant 16 semaines dans un verger de kiwis. Au cours des expérimentations, la viabilité des conidies reste élevée (40%) et la vigueur des conidies viables ne change pas au cours du temps (Walter *et al.* 1999). Ce travail a montré que les conidies peuvent survivre pendant de longues périodes à la surface des fruits et rester capables d'initier la phase d'infection.

L'infection est un processus qui regroupe différentes étapes durant lesquelles un champignon pathogène se développe dans les tissus de la plante. Ce processus inclut les phases de germination, pénétration et installation du champignon au niveau des tissus de l'hôte (Agrios, 1997). Ces différentes phases sont

fortement influencées par les conditions microclimatiques. De nombreux travaux ont été réalisés pour étudier l'influence des facteurs climatiques sur la phase d'infection par *Botrytis* sp. au niveau des tissus de l'hôte. Les résultats obtenus sont parfois contradictoires (Tableau 3). L'humidité relative est un facteur limitant de la germination des spores. Des humidités relatives proches de la saturation sont nécessaires à la germination. Selon certains auteurs, la présence d'eau libre est même nécessaire à ce phénomène. Ainsi, pour des humidités relatives allant de 70 à 94% la germination a pu être observée uniquement lorsqu'il y avait condensation autour des conidies, c'est à dire présence d'eau disponible pour activer la germination (Carre et Coyier, 1984). Pour que la germination ait lieu, il faut que les conditions humides soient réunies. Sur feuilles de tomates par exemple, un faible taux de germination est obtenu ($\leq 18\%$) lorsque l'humectation des tissus dure moins de 24 heures (Nicot et Alex, 1991). Les conidies de *B. cinerea* ne contiennent que 17% d'eau, ce qui expliquerait que la germination et la pénétration au niveau de l'épiderme ne soient obtenues que si les conidies absorbent de l'eau (Blakeman, 1980). Lorsque la germination a été initiée, la sensibilité des conidies aux variations, microclimatiques est très grande (Alderman et al, 1985). Ce sont principalement les interruptions de conditions humides qui ont un effet néfaste. Pour *B. squamosa*, c'est après 6 heures en présence d'eau que la vulnérabilité des conidies est la plus importante. Les conidies ont germé mais les tubes germinatifs n'ont pas encore pénétré dans les tissus de l'hôte où ils seront protégés des variations d'humidités (Alderman et al., 1985).

Pour que l'infection réussisse et donne lieu au développement d'une lésion, la présence d'eau libre ou des conditions d'humidités relatives proches de la saturation sont nécessaires pendant des périodes de temps déterminées. Ainsi, sur fleurs et baies de raisin, en conditions de températures optimales (respectivement 23,7 et 20,8°C) des périodes d'humectation respectivement de 1,3 et 13,9 heures (déterminées après modélisation des données) permettent le développement des lésions (Sosa-Alvarez et al., 1995). A 20°C, l'infection atteint un taux de 100% sur fleurs de fraisiers lorsque l'humectation a duré au minimum 24 heures

(Bulger *et al.*, 1987). De même, sur fleur de tomate, le taux d'infection augmente avec l'élévation de l'humidité relative (entre 56 et 100%) et de la durée de la période de forte humidité (de 0 à 36 h) (Eden *et al.*, 1996). L'infection par *B. squamosa* sur feuilles d'oignons nécessite une période d'humectation d'une durée minimum de 6 à 9 heures en conditions de température favorable (15 à 20°C) mais l'efficacité de l'infection n'est élevée que pour des durées d'humectation de plus de 12 heures (Vincelli et Lorbeer, 1988). L'humidité relative a moins d'influence sur l'infection des tiges de tomate. L'élévation de l'humidité de 56 à 100% augmente faiblement le taux d'infection sur tiges (Eden *et al.*, 1996a ; O'Neill *et al.*, 1997). Les lésions sur pétioles de tomate se développent même plus rapidement dans les conditions de faible humidité relative (Shtienberg *et al.*, 1998).

Dans l'initiation de **la phase de germination**, la température semble avoir moins d'effet que l'humidité relative. In vitro, sur milieu gélosé (Potato Dextrose Agar), les températures optimales pour la germination de *B. cinerea* sont de l'ordre de 20-25°C, mais la germination est possible pour une gamme de températures allant de 5 à 30°C (Margery *et al.*, 2005). Le développement de *B. cinerea* a même été observé pour des températures de 1 à 10°C sur choux en conservation (Leifert *et al.*, 1992). *B. allii* peut aussi se développer sur bulbes d'ail dans des températures allant de -2 à -4 °C (Tian et Bertolini, 1995). Les conditions de températures peuvent influencer l'apparition des lésions. Les fortes températures ont souvent un effet négatif sur l'apparition des lésions. A 30°C, sur pétales de gerbera inoculées avec *B. cinerea* et conservées à humidité relative >95% il n'y a pas de formation de lésion (Margery *et al.*, 2005). De même sur raisins, il n'y a pas de développement de *B. cinerea* à 30°C (Jewett and Jarvis, 2001).

La pénétration dans les tissus de l'hôte se fait le plus souvent par l'intermédiaire de blessures, au niveau de cellules mortes, via les stomates ou directement à travers la paroi des organes après formation d'un appressorium (Elad, 1989). C'est une phase qui dure 2 à 3 heures si les conditions sont favorables (Elad et Shtienberg, 1995). D'après Elad et Shtienberg (1995), *B. cinerea* est exposé aux conditions microclimatiques en moyenne pendant 9 à 10 heures lors de l'infection (environ 7 heures pour la germination puis 2 à 3 heures pour la pénétration).

Selon ces auteurs, sous des conditions optimales, l'établissement de l'agent pathogène (infection puis apparition des symptômes) se fait en 5 à 8 jours.

La phase de **sporulation** a lieu pour une large gamme de températures (O'Neill et al., 1997). La présence d'un film d'eau sur les tissus colonisés est un facteur inhibant la sporulation (Elad et Shtienberg, 1995). L'optimum de température pour la sporulation de *B. cinerea* est proche de 15 à 18°C (O'Neill et al., 1997 ; Sosa-Alvarez et al., 1995), indépendamment du type de tissus considéré puisque ces résultats sont similaires sur tiges de tomate et feuilles de fraisiers. Pour des températures extrêmes de 5°C ou 26°C sur tige de tomate (O'Neill et al., 1997), 30°C sur feuilles de fraisiers (Sosa-Alvarez et al., 1995), la sporulation n'a pas lieu. L'humidité relative est un facteur limitant de la sporulation. De fortes humidités relatives favorisent la sporulation (O'Neill et al., 1997). L'interruption de ces conditions entraîne un retard de la sporulation. En conditions favorables, la sporulation sur tiges de tomates apparaît 2 jours après inoculation de *B. cinerea* (Nicot et al., 1996). Ce résultat est confirmé par les travaux de O'Neill et Shtienberg qui ont observé la sporulation sur tige entre 2 et 4 jours après inoculation de tronçons de tiges de tomate (O'Neill et al., 1997). Le taux de sporulation lors de cette étude était plus élevé (et la sporulation obtenue plus rapidement) pour une incubation des tissus inoculés sous un déficit de pression de vapeur d'eau de <0,2 kPa (proche de 100% HR) plutôt que 1,3 kPa (<40% HR).

La **dispersion des spores** se fait dans l'air ou éventuellement via les gouttes d'eau (phénomène de 'splashing'). La dispersion des conidies est gouvernée par un phénomène hygroscopique. Elle serait liée à une augmentation de la température et du déficit de vapeur d'eau (Elad et Shtienberg, 1995).

IV. 5. Influence du système de culture sur le développement de la maladie

Le climat des différents types d'abris utilisés pour la production de tomates est très contrasté. Dans les serres verre, des systèmes de régulation permettent d'éviter de trop grandes variations. A l'inverse, dans les tunnels en plastique, de grandes amplitudes des paramètres microclimatiques peuvent être enregistrées au cours d'une même journée. Sur 24 heures, il peut y avoir alternance de conditions sèches associées à de fortes températures le jour, suivies de conditions humides et fraîches durant la nuit. Ces

climats contrastés influencent l'apparition des symptômes de pourriture grise. En conséquence, les symptômes les plus couramment observés sont différents dans les deux types d'abris.

Dans les abris non chauffés, les attaques sur feuilles et fruits sont prédominantes durant les périodes de climat froid, du fait d'une humidité élevée et de condensation fréquente sur ces organes (Abreu et al., 1999 ; Barroso et al., 1999b; Nicot et al., 1996). Dans les serres chauffées, des symptômes peuvent parfois aussi être observés sur feuilles et sur fruits, mais ce sont principalement les tiges (via les plaies d'effeuillage) qui sont attaquées par *B. cinerea* (Nicot et al., 1996). Les attaques sur tiges sont un problème non négligeable dans le cas des cultures de longue durée en serres chauffées. Le développement de chancres sur tiges peut entraîner la mort de la plante et causer d'importantes pertes de rendement (Elad et Shtienberg, 1995). L'attaque des tiges par *B. cinerea* peut être à l'origine de l'arrêt précoce de la culture (Elad et Shtienberg, 1995). Il est possible de limiter les attaques sur feuilles, fleurs et fruits par la ventilation ou le chauffage des serres car ces méthodes permettent de réduire la présence d'eau libre sur ces organes. En revanche, l'aération et le chauffage des cultures n'ont qu'un faible effet au niveau de la protection des tiges (Shtienberg et al., 1998). Au niveau des blessures, la présence d'eau n'étant pas un facteur limitant, il est donc difficile d'éviter le développement d'infections.

IV. 6. Autres facteurs influençant le développement de *B. cinerea*

IV. 6. 1. Nutriments disponibles et compétition avec la microflore

Le déroulement des différentes étapes d'infection est tributaire des facteurs microclimatiques, mais aussi de facteurs biotiques. La microflore présente sur les organes de l'hôte et la disponibilité en nutriments vont influencer le déroulement de l'infection. La microflore indigène agit sur le développement du champignon pathogène : tout au long d'une saison de culture, le suivi de la microflore sur feuilles de pommier a mis en évidence la présence d'au moins 32 espèces de champignons, dont 21 étaient présentes en grand nombre tout au long de l'année. Parmi ces micro-organismes, certains ont même révélé un potentiel antagoniste contre *B. cinerea* (Falconi et Mendgen, 1994). *Bottytis* spp doit donc entrer en compétition avec les

micro-organismes présents pour pouvoir se développer et initier l'infection. A la surface des organes de l'hôte, il y a une compétition pour les nutriments disponibles entre les différents micro-organismes présents (Blakeman, 1993). Cette compétition nutritive détermine la taille des populations microbiennes. L'initiation de la germination et la croissance de tubes germinatifs à la surface de l'hôte nécessitent aussi la présence de nutriments. Plus la disponibilité en nutriments est faible, plus le taux de germination baisse (Blakeman, 1993 ; Yunis et Elad, 1993). Cette dépendance n'est pas la même pour toutes les espèces de *Botrytis*. Elle est beaucoup moins marquée chez *B. squamosa* par exemple que chez *B. cinerea*. Pour *B. cinerea*, le besoin en nutriments pour germer est d'autant plus important que les conidies sont âgées. Blakeman (1993) a mis en évidence l'inhibition de la germination de conidies de *B. cinerea* en présence de bactéries due à la compétition nutritive entre les deux micro-organismes. Les conidies de *B. cinerea* mises en suspension dans une gouttelette d'eau perdent des sucres et acides aminés lors de leur réhydratation. Ces substances nutritives sont utilisées par les bactéries dont le développement rapide entraîne l'inhibition de la germination du champignon phytopathogène (Blakeman, 1993).

IV. 6. 2. Influence de la qualité de lumière

Il a été démontré par plusieurs études que le développement de *B. cinerea* pouvait être affecté par les radiations lumineuses. Des travaux réalisés dans les années 1970 ont montré que la phase de sporulation de *B. cinerea* était dépendante de la qualité de lumière reçue. Certaines gammes de longueur d'onde stimulent la sporulation, d'autres peuvent l'inhiber. Les ultraviolets proches (UVb), ayant des longueurs d'onde comprises entre 300 et 400 nm et les infra rouges (IR, >720 nm) stimulent la production de spores *in vitro* alors que la lumière bleue (entre 380 et 530 nm) inhibe la sporulation (Epton et Richmond, 1980 ; Jarvis, 1992; Tan, 1975a; Tan, 1975b). L'influence de la lumière sur la sporulation est un phénomène complexe. Les IR par exemple sont capables de réduire la sporulation lorsqu'elle a été inhibée en lumière bleue. A l'inverse, la lumière rouge (620-720 nm) inhibe la sporulation induite par les IR mais n'a pas d'effet sur la sporulation de cultures exposées aux ultraviolets proches, qu'il y ait eu ou non

application d'infra rouges sur la culture fongique (Elad, 1997). Sur jeunes plants de tomate, sur fleurs ou sur cotylédons de tomate, l'inhibition de sporulation par les films photo-sélectifs est moins efficace que sur les autres organes de la plante ou sur plantes adultes (Nicot al., 1996 ; Nicot et al., 2002).

V. Méthodes de lutte contre la pourriture grise

A ce jour, il n'existe aucune variété commerciale de tomate résistante à *B. cinerea*. La lutte repose principalement sur l'utilisation de traitements chimiques, mais cette méthode ayant présenté au cours du temps de nombreux inconvénients, d'autres stratégies ont du être mises en place. Différentes stratégies de lutte culturale ont ainsi été développées et de nombreux travaux sont effectués pour mettre en place des stratégies de lutte biologique efficaces. Actuellement, aucune des méthodes disponibles ne permet de garantir totalement les cultures contre le développement de *B. cinerea*.

V. 1. Lutte chimique

Les fongicides sont le groupe des pesticides le moins utilisé dans le monde. Ils représentent seulement 10% des pesticides utilisés aux Etats-Unis mais par contre, ils constituent un marché très important en Europe. En France, au début des années 80, ils représentaient le tiers des pesticides vendus ; depuis, ils sont en constante progression (Simon *et al.*, 1994).

Traditionnellement, la lutte chimique est la méthode la plus employée contre *Botrytis* spp. Elle est basée sur l'utilisation de fongicides soit par pulvérisation sur l'ensemble de la culture, soit par application localisée sous forme d'une pâte concentrée au niveau de plaies infectées (Elad *et al.*, 1995).

Les fongicides ont plusieurs modes d'action (par exemple par inhibition de la synthèse des stérols, action contre la respiration, contre la mitose) et à des niveaux distincts. Lorsque le fongicide pénètre dans la plante et agit après transport par la sève, il est question de produit systémique. Lorsque le produit pénètre dans la plante mais n'est pas transporté, il s'agit d'un fongicide pénétrant. Enfin, lorsque le fongicide reste à la surface de la plante et ne pénètre pas la cuticule, il s'agit d'un fongicide dit de contact (Simon *et al.*, 1994). Deux grands types de fongicides peuvent être

distingués, les fongicides multi sites (les plus couramment utilisés) ayant une multiplicité de sites d'action, et les fongicides uni-sites qui vont agir spécifiquement sur un processus déterminé. Contre *B. cinerea*, différents fongicides ont été développés et utilisés. Au cours du temps, des problèmes liés à l'utilisation de ces produits comme principale méthode de lutte sont apparus.

Le problème majeur de la lutte chimique réside dans la capacité de *B. cinerea* à développer des souches résistantes aux différents groupes de fongicides (Gullino, 1992). Malgré l'homologation de groupes de fongicides ayant des modes d'action différents, des populations résistantes à de nombreux fongicides unisites ont pu être observées. Des fongicides appartenant au groupe des benzimidazoles ont été utilisés à partir des années 1960, mais des souches de *Botrytis* spp. résistantes se sont rapidement développées (Beever et al., 1999). Dans les années 70 et 80, les benzimidazoles ont été remplacés par des fongicides appartenant au groupe des dicarboximides (Beever et al., 1999 ; Elad et al., 1995). Bien que recommandés pour la lutte contre la pourriture grise, l'utilisation des dicarboximides a entraîné l'apparition de souches résistantes (Elad et al., 1992).

Le développement de fongicides à base de diéthofencarbe a permis un traitement efficace contre les souches résistantes aux benzimidazoles, mais de nouveau, des souches résistantes ont été isolées (Gullino, 1992). Actuellement, des souches de *B. cinerea* résistants aux principaux groupes de fongicides ayant des modes d'action spécifiques ont été isolées (Pappas, 1997). Des fongicides multisites (chlorothalonil, dichlofluanide, thirame) sont disponibles, mais leur application est reconnue moins efficace que celle de fongicides spécifiques (Elad et al, 1995; Gullino, 1992). Il est courant de rencontrer des souches présentant des résistances à plusieurs fongicides. On parle de résistance croisée lorsqu'un seul gène est responsable de la résistance à plusieurs matières actives (Leroux et al. 2002). Connaître les caractéristiques prédominantes des populations d'agents pathogènes permet d'orienter le choix des matières actives (Leroux et Besselat, 1984). Des souches très résistantes aux benzimidazoles mais sensibles au phenylcarbamate (diéthofencarbe) ont été observées (Pappas, 1997). Un mélange des deux types de fongicides permettra donc une lutte efficace.

L'existence de populations d'agents pathogènes résistant à plusieurs fongicides a motivé l'idée d'alterner ou d'utiliser des mélanges de produits à modes d'action différents, ou appartenant à des groupes chimiques différents (Gullino, 1992). La mise en pratique de l'utilisation de mélanges de produits peut permettre une lutte efficace contre la pourriture grise. Par exemple, l'application d'un produit commercial contenant de l'iprodione (dicarboximide) et du thiabendazole (famille de benzimidazoles) contre *B. cinerea* s'est révélée plus efficace que l'application de chacun des produits séparément sur cultures de céleri (Barkai-Golan et al., 1993). L'alternance de matières actives appartenant à des groupes de fongicides différents est cependant difficile. Un nombre restreint de produits homologués est disponible dans tous les pays.

Les résistances croisées aux dicarboximides dans les populations de *B. cinerea* étant courantes (Leroux et Clerjeau, 1985), cette restriction du nombre de matières actives disponibles est un frein à la lutte chimique contre la pourriture grise sur la tomate. Enfin, la législation en vigueur dans chaque pays est une barrière supplémentaire à l'utilisation des différentes matières actives.

L'ensemble des contraintes précédemment décrites a contribué à modifier les stratégies d'utilisation des fongicides. Un des principaux objectifs est de réduire le nombre d'applications des produits afin de limiter le développement de souches résistantes (Forster et Staub, 1996). L'augmentation de l'intervalle de temps entre les applications de fongicides ou l'utilisation de mélanges de fongicides (permettant l'application de concentrations plus faibles de matières actives) permettent la réduction des résidus de produits chimiques dans les fruits (Washington et al., 1992). Pour limiter le nombre d'applications de pesticides, des méthodes d'aide à la décision sont proposées. La première est basée sur une bonne connaissance du cycle de développement de la maladie en fonction des saisons de culture. Les périodes les plus propices à l'installation de la maladie sont identifiées. Le système "BOTCAST" s'est fait connaître par cette stratégie. Il permet de déterminer le moment le plus propice pour commencer les traitements fongicides sur une culture d'oignons afin d'obtenir une bonne protection contre *B. squamosa* tout en réduisant le nombre d'applications de fongicides. Ce système a permis de diminuer le nombre de traitements jusqu'à six fois par rapport à un programme classique d'application de

fongicides (Sutton *et al.*, 1997). Le système "BLIGHT-ALERT" également utilisé pour les cultures d'oignons a été développé suivant le même principe (Vincelli et Lorbeer, 1989).

Le programme de traitements peut aussi être basé sur des modèles épidémiologiques prenant en compte différents paramètres déterminants dans l'installation de la maladie. Les périodes de fort risque d'initiation de l'épidémie sont identifiées lorsque les paramètres reconnus comme favorables sont rassemblés. L'intervention chimique est alors déclenchée. Un programme d'aide à la décision de ce type a été mis en place pour la lutte contre *B. cinerea*. Son efficacité a été vérifiée sur cultures de tomates et concombres. Il s'agit du système "BOTMAN" (Shtienberg et Elad, 1997) qui prend en compte les prévisions météorologiques et les données microclimatiques sous abris pour décider des interventions à réaliser sur la culture. Ces différentes stratégies ne suffisent pas à assurer une protection complète des cultures via la lutte chimique seule et la protection de l'environnement nécessite la diminution de l'utilisation de produits chimiques. D'autres méthodes, de lutte alternatives ou complémentaires, sont donc nécessaires (Elad et Shtienberg, 1995; Gullino, 1992).

V.2. Lutte culturale

V.2.1. Lutte climatique

Le type de symptômes et la gravité de la maladie sur tomate sont influencées par les conditions climatiques. Il apparaît clairement que le microclimat est déterminant dans le développement de la maladie. Les symptômes sont dépendants du type d'abris de culture (serres chauffées ou tunnels plastique non chauffés) et principalement des conditions climatiques dominantes dans chacun des systèmes. Les systèmes de culture sous abris peuvent permettre au producteur d'exercer un contrôle sur le microclimat régnant à l'intérieur de la serre. Une véritable "stratégie climatique" doit être mise en place pour tenir compte des contraintes climatiques au niveau des besoins de la culture et de la plante tout en évitant les risques de maladies (Baillie, 1991). Dans le cas de *B. cinerea*, un des principaux objectifs sera d'éviter la formation d'un film d'eau à la surface des plantes. Pour cela, le serriste devra tenter de contrôler l'humidité relative et la température pour éviter d'atteindre le point de rosée (Jarvis,

1989). Le chauffage et la ventilation vont permettre de limiter la présence d'eau libre sur les tissus de la plante et donc de réduire l'intensité de la pourriture grise (Morgan, 1985). La transpiration des plantes a un effet sur le microclimat à l'intérieur de la serre (augmentation de la quantité de vapeur d'eau). Elle peut être contrôlée en jouant à la fois sur la brumisation, l'ombrage et la ventilation à l'intérieur de la serre (Boulard et al., 1991). De manière générale, la ventilation ou l'aération des abris élimine, ou réduit au maximum la présence de vapeur d'eau, mais aussi la condensation liée aux changements de température. Une ventilation forcée peut permettre de renouveler l'air à l'intérieur de la serre (Nicot et Baille, 1996).

Dans des systèmes moins complexes, de type tunnels plastique, la maîtrise de l'aération naturelle combinée à la gestion des ouvertures des abris permet le contrôle de l'humidité relative durant la nuit (Abreu et al., 1994). L'aération nocturne naturelle par ouverture des ouvrants est un moyen de limiter le développement de *B. cinerea* en limitant le phénomène de condensation (Meneses *et al.*, 1994). Les excès d'humidité peuvent aussi être évités par chauffage. La réduction de l'humidité relative est une méthode qui s'est avérée efficace pour limiter, le développement de *B. cinerea*.

Le maintien d'une humidité relative à 75% plutôt qu'à 90% à l'intérieur d'une serre a permis de diminuer l'apparition de *B. cinerea* tout en améliorant la production des plants de tomate (Winspear *et al.*, 1970). Le contrôle de la température est aussi nécessaire (Winspear et al., 1970). *B. cinerea* est défavorisé lorsque la température est maintenue constante à 20°C par rapport à une régulation à 20°C le jour et 13°C la nuit. La régulation de la température nocturne semble un élément important.

L'apparition de symptômes sur tomates a été comparée pour des températures nocturnes de 13 ou 16°C en condition de ventilation. Deux fois plus de symptômes ont été observés pour la température la plus basse (Morgan, 1984). L'utilisation de régulations nocturnes basses pour limiter la consommation d'énergie entraîne des risques d'apparition plus précoce de la maladie (Morgan, 1985). A l'inverse, il a été montré que si l'augmentation de la température dans les serres permettait une diminution du nombre d'attaques sur tiges, cela semblerait avoir un effet inverse sur fleurs (Shtienberg *et al.*, 1998).

V.2.2. Films photo-sélectifs

L'utilisation de films plastique **photo-sélectifs** peut permettre de limiter le refroidissement des plantes et du sol durant la nuit. Le refroidissement de l'air causé par l'émission d'infrarouges durant la nuit est un facteur d'augmentation de l'humidité relative dans les serres (Vakalounakis, 1992). Pour des cultures menées sous films absorbants les infrarouges, le refroidissement durant la nuit a pu être limité. Il en a résulté une diminution du développement de *Cladosporium fulvum* et de *B. cinerea*, et une augmentation du rendement sur culture de tomate (Vakalounakis, 1992). Il est probable que cette méthode de lutte ne pourra pas être utilisée seule, mais plutôt en combinaison avec d'autres stratégies (Elad, 1997). Cependant il s'agit d'un outil intéressant qui pourra jouer un rôle dans la réduction de l'utilisation et du nombre d'applications de fongicides dans les cultures.

V.3. Autres méthodes de lutte culturale

Un certain nombre de mesures peuvent être prises dans les abris pour limiter ou réduire au maximum les quantités d'inoculum à l'origine de la maladie dans les cultures. L'objectif est de limiter l'entrée d'inoculum dans la serre et de prévenir les conditions favorables à l'installation du champignon sur la culture. Le but est aussi de préserver les plantes (mener la culture dans des conditions limitant leur sensibilité à la maladie). *Botrytis* spp. est capable de coloniser rapidement les tissus nécrotiques (Kohl *et al.*, 1999) et de produire ensuite des quantités importantes d'inoculum secondaire. Il est donc important de limiter la présence de tels tissus dans les serres. Pour cela, tous les débris de culture ainsi que les plantes malades doivent être retirés de la culture. L'architecture de la culture doit être organisée de manière à maintenir une densité de plantes réduite, afin de limiter les zones de confinement qui permettent le développement local de microclimats à humidité élevée, voire de condensation (Elad et Shtienberg, 1995 ; Jarvis, 1992).

Un des problèmes majeurs des cultures de tomate étant les attaques sur tiges résultant de l'infection des plaies d'effeuillage, des études ont été réalisées dans le but d'améliorer les techniques d'effeuillage. Il a été mis en évidence que l'effeuillage à ras des tiges sans laisser de chicot de pétioles diminuait significativement les risques

d'infections des plaies (Decognet et al., 1998). Diverses techniques permettent de limiter au maximum l'apparition d'infections dues au *B. cinerea*. Cependant, elles ne garantissent pas une protection complète des cultures et parfois elles augmentent le coût de la conduite de la culture.

V.4. Lutte biologique

La lutte biologique est une alternative prometteuse à la lutte chimique. Elle est basée sur l'utilisation de bactéries, champignons ou levures contre les agents pathogènes. Les produits commerciaux de lutte biologique sont de manière générale (tous types de maladies confondus) encore peu nombreux sur le marché. D'importants efforts de recherche sont réalisés au niveau international afin d'identifier de nouveaux agents de lutte biologique performants et de permettre leur commercialisation (Bardin et al., 2004). Plusieurs microorganismes se sont révélés capables de lutter contre le *B. cinerea* lors de travaux réalisés sur divers hôtes. L'utilisation de ces agents de lutte biologique potentiels repose sur le mode d'action.

Les stratégies développées reposent sur l'idée de combattre l'agent pathogène au niveau des stades clefs de son développement. Les agents de la lutte biologique agissent par la production d'antibiotique ou de substances antifongique, par la compétition nutritive et par hyperparasitisme. Trois niveaux d'interactions peuvent être distingués (Elmer et Kohl, 1998 ; Fokkema, 1993).

V. 4. 1. Lutte contre l'Infection

La protection des tissus sains contre l'infection a pu être obtenue avec différentes levures -*Exophiala jeanselmi* sur roses (Redmond et al., 1987), bactéries – *Bacillus* spp., *Pseudomonas fluorescens* (Swadling et Jeffries, 1996), ou champignons – *Trichoderma harzarium* (Elad, 1996). La protection des tissus sains de l'hôte est une stratégie qui peut présenter sur les cultures de la tomate. L'ensemble des organes aériens de la plante pouvant être attaqué par *B. cinerea*, l'application d'un antagoniste inhibant la phase d'infection du champignon pathogène permettrait une bonne protection des cultures.

V. 4. 2. Lutte contre la dissémination

Cette stratégie présente l'intérêt de ne pas nécessiter d'interaction rapide entre l'agent pathogène et l'antagoniste. Plusieurs antagonistes se sont révélés efficaces pour supprimer la sporulation de *Botrytis cinerea*. Sur feuilles de lys, cette suppression a été obtenue avec *U. atrum* (Köhl et al., 1995). De même, que des isolats de *Trichoderma* sp. et de *Gliocladium* sp. ont permis de supprimer la sporulation sur feuilles de fraisiers (Peng et Sutton, 1991). Cette stratégie de lutte est envisageable pour les cultures de tomate.

V. 4. 3. Lutte contre les structures de survie

Les structures de survie de *B. cinerea* telles que les sclérotés peuvent être détruites par un antagoniste. Ce sont principalement des isolats de *Trichoderma* sp. qui ont permis de détruire les sclérotés (Coley-Smith et al., 1980). La présence de sclérotés dans les cultures de tomates n'a pas été rapportée, et de plus les cultures ne sont pas conservées d'une année à une autre. Cette stratégie ne semble donc pas un choix utilisable pour la lutte contre la pourriture grise de la tomate.

VI. Influence du système d'irrigation sur le développement des maladies

Les différents systèmes d'irrigations en cultures légumières en Algérie sont le goutte à goutte et l'irrigation à la rigole. Les études comparant l'irrigation à la rigole à l'irrigation au goutte-à-goutte dans les cultures de tomates et dans d'autres cultures, ont montré que les systèmes de goutte-à-goutte ont généralement une meilleure efficacité dans l'utilisation de l'eau et, souvent, offrent des rendements plus élevés (Ashcroft et al., 2003 ; Flowers et al., 2005 ; Mansour et al., 2005 ; Singandhupe et al., 2003 ; Yohannes et Tadesse, 1998). L'irrigation à la rigole a été incriminée dans la remontée des sels dans plusieurs régions du monde particulièrement dans les régions semi-arides (Hebbar et al., 2004 ; Tiwari et al., 2005 ; Xi-Ping et al., 2006).

Les méthodes d'irrigation peuvent également avoir des effets importants sur le développement des maladies des végétaux (Rotem et Palti, 1969). L'eau a un effet direct dans le développement des pathologies végétales (Rotem et al., 1970). L'irrigation à la rigole a été associée à l'accumulation de sel, d'où la mortalité des semis, notamment dans plusieurs cultures de tomates et de poivron (Miyamoto et al., 1986). Cette même

technique a été incriminée comme facteur favorisant le développement des maladies transmises par le sol. Les études menées sur la pourriture des racines de tomates, causée *Phytophthora parasitica*, irriguées par le système rigole, ont montré que la maladie se développe plus rapidement et sa sévérité est plus grande dans les parcelles qui ont reçu des traitements d'irrigation prolongée, par rapport à des d'irrigation moins fréquents (Ristaino et coll., 1988). Des résultats similaires ont été obtenus sur la pourriture des racines et des fruits du poivron causée par *P. capsici* (Café-Filho et al., 1995). Dans des études comparatives de l'irrigation au goutte-à-goutte et à la rigole, l'incidence des champignons du genre *Phytophthora* était plus élevée et le rendement commercialisable de poivron a été plus faible dans le système rigole que sous l'irrigation au goutte-à-goutte (Xie et al., 1999). De même, sur les cultures de laitue, l'incidence de la pourriture, causée par *Sclerotinia minor*, et le symptôme des racines liégeuses, causés par *Rhizomonas suberifasciens*, étaient sensiblement plus élevés dans le système rigole que sous irrigation au goutte-à-goutte (Subbarao et al., 1997 ; Wu et Subbarao, 2003).

En contraste avec ces résultats, le passage de la méthode rigole à l'irrigation au goutte-à-goutte peut ne pas toujours avoir des effets bénéfiques sur la santé des cultures. Nischwitz et al. (2004) ont signalé une augmentation de la pourriture en charbon sur melon, provoquée par *Macrophomina phaseolina*, en Arizona, quand les cultivateurs sont passés de la rigole au système d'irrigation au goutte à goutte. Ils ont trouvé des niveaux d'inoculum sensiblement plus élevés dans les échantillons prélevés sur des périmètres irrigués au goutte-à-goutte - que dans les rigoles. Ils ont suggéré que l'irrigation au goutte-à-goutte peut contribuer à une incidence plus élevée de la maladie. Pour d'autres maladies transmises par le sol, l'impact de la méthode d'irrigation est peu important. Par exemple, Xiao et al., (1998) n'ont signalé aucune différence significative dans l'incidence et la gravité du flétrissement verticillien du chou-fleur entre les parcelles irriguées par le goutte-à-goutte et les parcelles irriguées à la rigole dans les études réalisées en Californie.

Chapitre II

Etat Sanitaire et Incidence des Maladies Dues aux Champignons

Introduction

L'introduction de nouvelles techniques culturales pour augmenter les rendements et la libéralisation des échanges commerciaux sont à l'origine de l'apparition de nouvelles pathologies. La mise en place de stratégies de lutte contre les maladies nécessite au préalable la connaissance des parasites présents sur les cultures. Depuis 1987, date d'entrée en vigueur de la loi portant sur la restructuration des domaines autogérés en entreprise agricole collective (EAC) et en entreprise agricole individuelle (EAI), le suivi phytosanitaire réalisé jusque là par les services de la protection des végétaux et des différents instituts agricoles spécialisés n'est pas pris en charge. Les travaux de prospection sur la prévalence des maladies ainsi que leur évolution dans les cultures légumières en générale et la tomate en particulier ne sont pas disponibles dans la bibliographie internationale. Dans ce chapitre, nous nous proposons de dresser un premier bilan phytosanitaire, déterminer la prévalence des maladies et de suivre leur évolution au cours de la saison culturale par une quantification. Enfin, nous discuterons de la situation en la comparant avec l'évolution du contexte phytosanitaire dans le bassin méditerranéen et ferons le lien avec les pratiques culturales utilisées par les agriculteurs de la wilaya de Bejaia.

I. Matériels et méthodes

I.1. Situation géographique

La wilaya de Bejaïa s'étale sur une superficie de 3261.26 km². Elle est située au Nord Est de la région centre du pays, elle est limitée par (Fig.1):

- La wilaya de Jijel à l'Ouest,
- Les wilayates de Tizi-Ouzou et Bouira à l'Est,
- Les wilayates de Sétif et Bordj Bouarraridj au Sud,
- Au Nord, elle est ouverte sur la méditerranée sur une longueur de 95 km.

Le relief de la wilaya se compose de trois zones bien distinctes :

- Plaine côtière d'une longueur de 30 km, s'étendant de l'embouchure de l'Oued Soummam à l'ouest à l'embouchure de l'oued Agrioune à l'Est.

- La vallée de la Soummam d'une longueur de 80 km et d'une largeur ne dépassant pas 04 km, sépare les deux ensembles de montagne : Bibans-Babors à l'Est et Akfadou-Gouraya à l'Ouest. La zone montagneuse occupe les trois quarts de la superficie de la wilaya et présente des pentes supérieures à 25%.

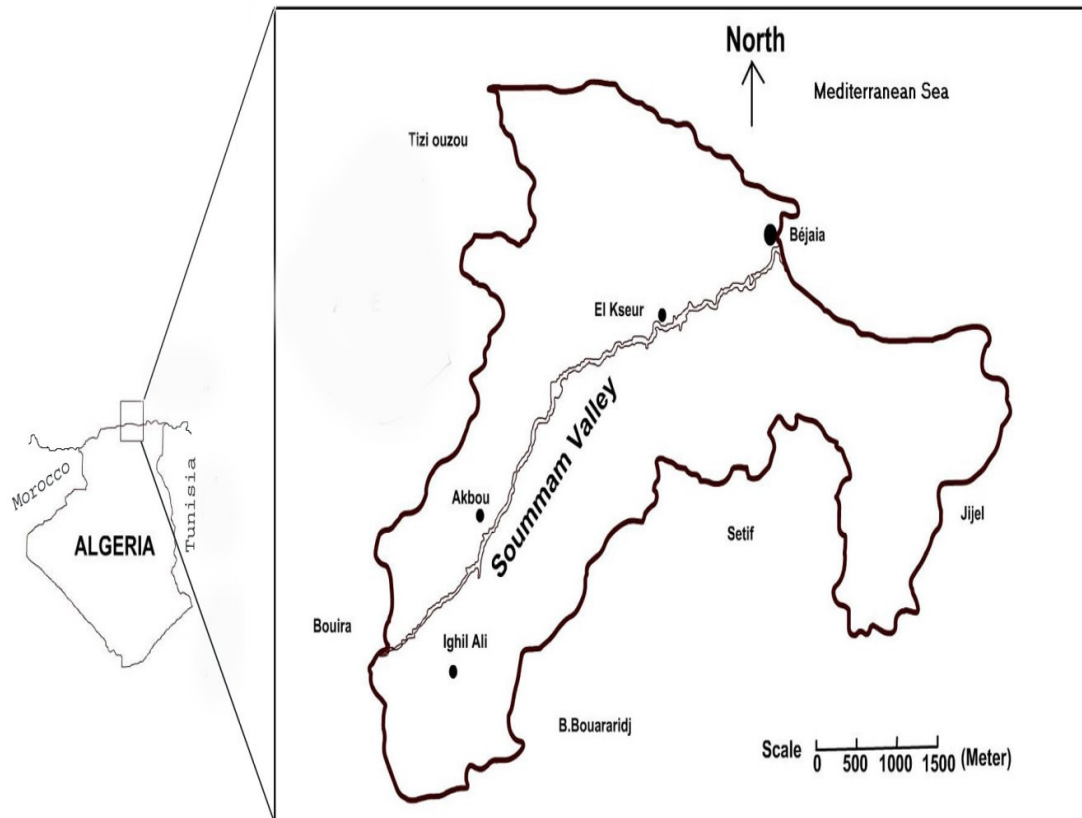


Figure 2 : Carte géographique de la wilaya de Bejaia

La plaine côtière est à vocation maraîchère, particulièrement les cultures sous serres. La vallée de la Soummam est une région d'agrumes.

I.2. Choix de la zone d'étude

Notre étude a été réalisée dans la région côtière de la wilaya de Bejaia au niveau de deux sites. L'étude a porté sur 46 tunnels de tomate répartis sur cinq communes. 31 tunnels sont situés sur la plaine côtière (Boukhelifa, Tichy et Aokas) à moins de 100 mètres de la mer et 15 tunnels sont situés dans la vallée de la Soummam au niveau de la

commune d'Amizour. Le choix de ces zones est dicté par leur représentativité en termes de nombre de serres et de la surface occupée par les cultures légumières.

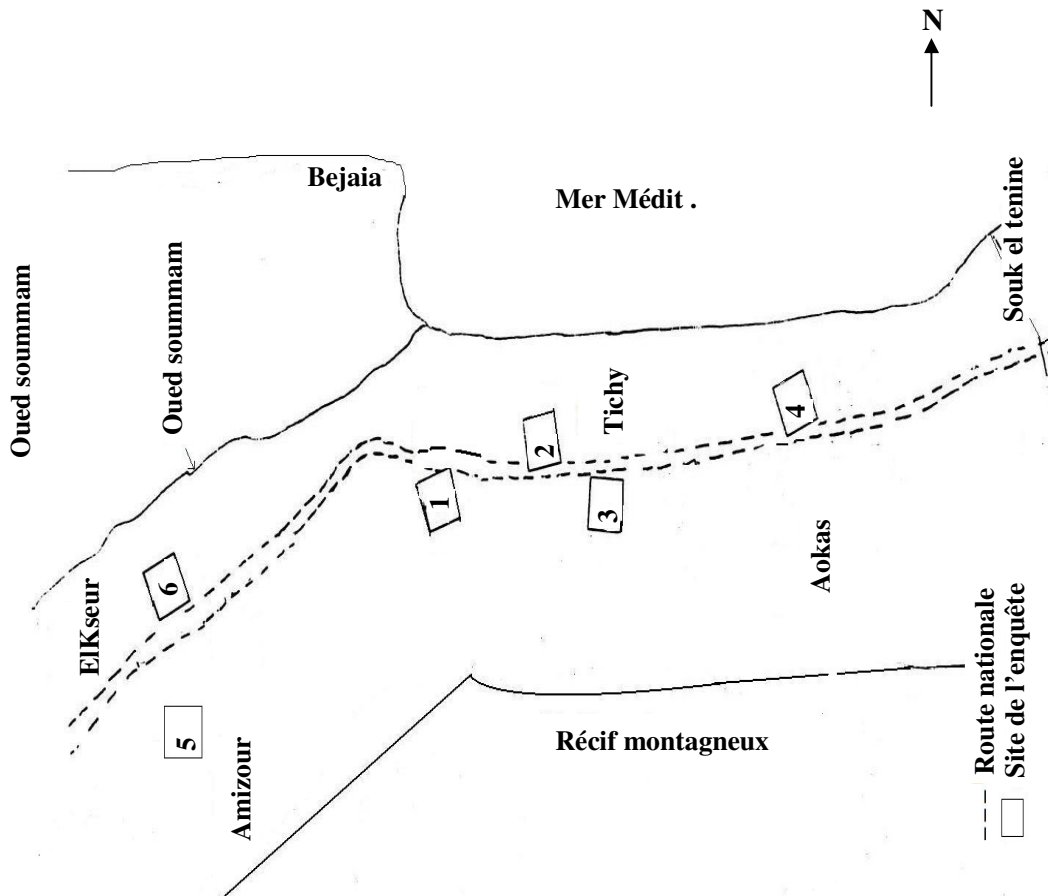


Figure 3 : Situation géographique des sites du suivi phytosanitaire

I.3. Protocole de l'étude

Le suivi de la situation sanitaire de la culture de tomate a été effectué durant deux saisons culturales consécutives 2004 et 2005, au niveau de 4 EAC situées le long du littoral et deux EAC situées au niveau de la vallée de la Soummam, réparties le long du littoral (Fig.2). Le travail d'identification et de quantification a porté sur 46 tunnels de tomates (*Lycopersicon esculentum* L. cultivar Agora, Vilmorin, France). Chaque tunnel contient en moyenne 750 plantes (1.9 plante/m²) réparties sur 07 rangs. A chaque sortie, nous analysons l'état sanitaire de 440 plantes par tunnel en réalisant un aller-retour dans la serre, ce qui représente 4 rangées de tomate. La notation consiste à relever la présence ou l'absence d'une pathologie sur chaque plante, dans les 46 tunnels, et à remplir le

questionnaire pour consigner les informations sur la culture et les conditions entourant l'apparition de la maladie.

I.3.1. Identification des maladies

L'identification des maladies est réalisée selon les méthodes classiques utilisées en phytopathologie qui englobent un diagnostic visuel effectué sur le terrain, auquel s'ajoute parfois, quand c'est nécessaire, un travail de microbiologie (isolement) complémentaire réalisé au laboratoire de mycologie. Pour la reconnaissance visuelle d'une pathologie sur le terrain, nous avons utilisé le document de base pour l'identification des maladies de la tomate de Blancard (1988). Dans quelques cas, des isolements sur milieux nutritifs sont effectués et les agents pathogènes sont identifiés en employant la clé de détermination de Barnett et al. (1998). Les étapes pour aboutir au diagnostic peuvent se réduire au simple examen visuel des symptômes associé à quelques éléments épidémiologiques.

I.3.1.1. Observation description et répartition des symptômes

La description des symptômes est consignée sous forme de photographie et une recherche du site de l'attaque est réalisée par un examen de toute la plante. Cette étape est importante pour poser un diagnostic juste, car des symptômes identiques peuvent être provoqués par des agents différents. La description des symptômes porte sur :

- La localisation des lésions sur les organes,
- Les dimensions des nécroses et leurs dispositions,
- Les couleurs des lésions ou de la pourriture,
- L'aspect de la pourriture (humide ou sèche).

Dans un second temps, nous procéderons à la description de la répartition spatiale des plantes atteintes dans le tunnel, cette phase est utile dans le cas de diagnostics différentiels.

I.3.1.2. Prélèvement des échantillons pour une analyse au laboratoire

Le prélèvement des échantillons à analyser est lié aux connaissances personnelles et se fait soigneusement, pour éviter un envahissement par des agents saprophytiques. En fonction des premières constatations, nous préférons prélever la plante entière car des symptômes apparents sur un organe donné peuvent être l'expression indirecte d'une cause primaire dont l'attaque est située sur une autre partie de la plante.

I.3.1.3. Isolement au laboratoire

Les techniques d'isolement sont variées et dépendent de l'organe (tige, feuille, fruit, racine, fleur) sur lequel sont réalisés les prélèvements. Les étapes composant la démarche sont :

- La désinfection : le but de cette étape est l'élimination des envahisseurs secondaires présents sur les organes ; nous utilisons l'hypochlorite de sodium à 2° et 5° pour les organes résistants (racines, tiges) et de l'éthanol à 70° pour les organes fragiles (feuilles, fleurs et fruits)
- L'ensemencement et mise en culture : nous découpons des fragments au niveau du front d'avancement des nécroses et les déposons dans des boîtes de Pétri
- contenant un milieu nutritif non sélectif le PDA (annexe1). L'opération d'isolement est répétée 04 fois sur chaque organe.
- La purification : après trois jours d'incubation à 25°C les boîtes sont soumises à une observation et à des repiquages pour séparer les colonies en fonction de leur aspect. Après séparation, nous obtenons des cultures pures.
- Identification des souches : cette étape est basée sur des observations macroscopiques (aspect des colonies, couleur...) et un examen microscopique sur lame. Toutes ces
- observations sont traduites par une description détaillée des différents organes (spores, mycélium, couleur...).
- Les clés de déterminations : les différents caractères obtenus précédemment sont utilisés pour la caractérisation de l'espèce responsable des symptômes. Dans notre travail, nous avons utilisé la clé d'identification de Barnett (1998) associée aux résultats descriptifs de l'épidémiologie consignés dans le questionnaire.

L'établissement du diagnostic est le produit de la synthèse des résultats de l'étude des symptômes. Ces résultats seront consignés au moyen de la photographie, les caractéristiques de la détermination systématique du microorganisme isolé en laboratoire seront présentés par des schémas ou, quand cela sera possible par la photographie.

- Remarque : la réalisation du postulat de Koch n'est envisagée que dans le cas où la confrontation de l'étude symptomatologique et l'agent isolé est contradictoire. Cette technique consiste à repiquer un plant avec l'agent isolé pour confirmer sa responsabilité dans le symptôme observé sur le terrain.

I.3.2. Méthode de quantification des maladies

Deux notations sont réalisées durant chaque saison culturale à des périodes correspondant aux stades de début fructification (Avril) et de pleine production (fin Mai) dans 46 serres. L'incidence d'une maladie est rapportée selon une échelle de notation comportant 6 niveaux d'atteinte (Tab.1).

Deux allers retours sont effectués dans chaque serre et 440 plantes sont observées et notées deux fois par saison. Au cours de la saison, en moyenne, 20000 mille plantes sont examinées.

Tableau 6 : Echelle de notation de l'incidence des maladies dans une serre.

Niveau de notation	Nombre de plantes atteintes
0	Aucune Plante atteinte dans le tunnel
1	De 1 à 15 plantes par tunnel
2	De 16 à 31 plantes par tunnel
3	De 32 à 50 plantes par tunnel
4	De 51 à 75 plantes par tunnel
5	Plus de 75 plantes par tunnel

I.3.3. Enquête sur les pratiques culturelles

L'objectif de cette enquête est de réunir un maximum d'informations sur les circonstances d'apparition des maladies et sur les pratiques culturelles utilisées par les exploitants et pouvant nous révéler des éléments explicatifs de l'épidémiologie d'une pathologie.

Les informations à collecter sont consignées dans un questionnaire (Annexe 2) et concernent les paramètres suivants:

- Emplacement de l'exploitation
- Type de propriété (privé, EAC, ...)
- Variété cultivée
- Système de semis
- Irrigation :
 - Goutte à goutte ou rigole
 - Fréquence de l'irrigation
 - Quantité d'eau
- Amendements (intrants minéraux et organiques)
 - Engrais utilisés
 - Quantités
 - Période des apports
- Traitements utilisés
- Précédent cultural
- Pathologies observées par le passé
- Observations particulières

II. Résultats et discussion

II.1. Identification des maladies

Durant les saisons culturales 2003 et 2004, nous avons identifié plusieurs affections qui sont à l'origine de pertes en rendement ou qui ont altéré la qualité des fruits. Les observations sur le terrain et les résultats des isolements ont abouti à l'identification de six champignons responsables de mycoses aériennes sur les différents organes de la tomate.

II.1.1. La Cladosporiose

- Les symptômes sur feuille se manifestent par des tâches jaunâtres et circulaires à la face supérieure qui correspondent à un feutrage brun à la face inférieure. Dans certaines conditions, le velouté atteint la face supérieure. Les feuilles touchées finissent par jaunir complètement et se dessèchent (Planche 1a). Les attaques sont concentrées aux niveaux des étages foliaires supérieurs.

- Quoique facilement reconnaissable par l'examen visuel sur le terrain, nous avons procédé à un ensemencement sur milieu PDA. La croissance de la colonie est lente, de couleurs violettes et parfois grises. Les observations microscopiques ont montré des conidies irrégulières, monocellulaires de dimensions variables (de 6-9 x 10-18 μ). Les symptômes observés et les caractéristiques microscopiques indiquent que l'agent responsable des lésions est : *Fulvia fulva* Cke. (planche 1b), tel que décrit par Barnett et Hunter (1998).



(a)



(b)

Planche 1 : Cladosporiose de la tomate

(a) Symptôme sur feuille

(b) conidies de *Cladosporium fulvum* Cke. ou *Fulva fulvum*

II.1.2. L'Alternariose

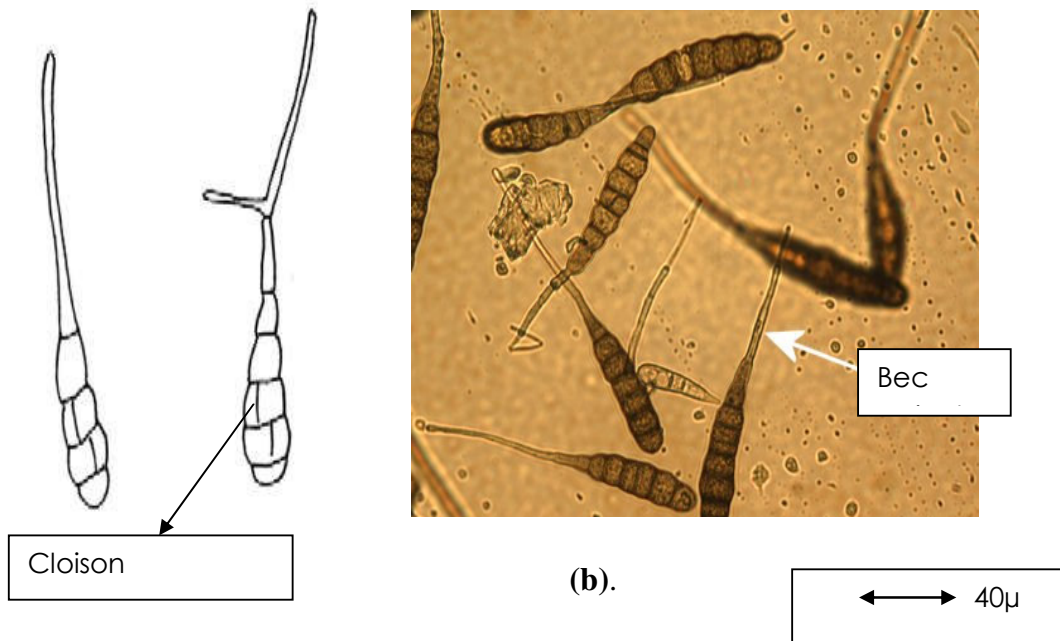
- les symptômes sont observés sur différents organes. Sur feuille, les tâches sont noirâtres plus ou moins arrondies ; à la loupe, elles sont zonées et formées par des cercle concentriques de dimensions variables atteignant parfois 1.3 cm d'extension (planche 2a).
- la mise en culture a mis en évidence des colonies verdâtres avec un mycélium aérien de couleur blanchâtre clair. L'examen microscopique a révélé la présence de spores de dimension variable : 55 à 100 μ de longueur et 15 à 25 μ de largeur. Les spores sont portées par des conidiospores et se présentent en petite chaînes ou en solitaire, variant de la couleur sombre à un marron clair et présentant un prolongement filiforme hyalin pouvant atteindre 110 μ (planche 2b) : la symptomatologie associée aux caractères microscopique nous permet de conclure que l'agent responsable de ces lésions est *Alternaria solani*.

II.1.3. La Pourriture grise

- les premières attaques interviennent à la mi-avril, au début de la fructification au niveau des blessures de l'effeuillage et de l'ébourgeonnage. C'est un chancre sporulant de couleur marron pouvant atteindre plusieurs centimètres (planche3b). Les attaques sur feuilles s'expriment sous forme de taches nécrotiques, marron à extension rapide pouvant recouvrir la majorité de la surface foliaire. Par contre, les attaques sur fruit sont plus discrètes ; ce sont des tâches fantomatiques, transparentes et qui ne sporulent qu'à la chute du fruit. Les symptômes sur fleurs conduisent à la perte totale de la récolte et sont foudroyantes (planche3a).
- Les isollements effectués à partir des tiges ont mit en évidence des colonies à mycélium marron clair aérien qui s'assombrit au bout de 15 jours, produisant des sclérotés de dimension variable (de 2 à 5 mm) et disposés sur la périphérie de la boîte. L'observation sous microscope a montré un mycélium cloisonné, et les spores ont disposées sous forme de grappes portées par un conidiophore (planche 3b). L'agent responsable est *Botrytis cinerea*.



(a)



(b).

Planche 2 : Alternariose de la tomate (Early blight)

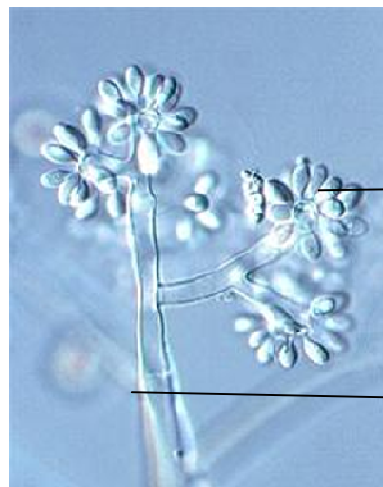
- (a) Grandes taches arrondies, irrégulières et entourées de tissu nécrotique jaune. Les taches sont concentriques.
- (b) Blastospores pluricellulaires brunes de grande taille, septées transversalement et longitudinalement, bec apical filiforme spécifique.



(a)



(b)



(c)

Spores en
grappe

conidiophore

←→ 40μ

Planche 3 : Pourriture grise

- (a) Attaques sur fleurs de tomates : chancre sporulant.
 (b) Chancre sur plaies d'effeuillage caractéristique des attaques de *Botrytis cinerea* dont la taille peut atteindre plusieurs centimètres
 (c) Disposition en grappe des spores (conidies) de *Botrytis cinerea*.

II.1.4. Pourriture blanche

- Les symptômes sont observés sur le fruit et à la base des tiges. Sur les fruits, une pourriture molle est recouverte par un mycélium blanc. Un chancre recouvert de mycélium ceinture la tige et s'étale sur plusieurs centimètres. Une coupe transversale de la tige met en évidence une série de sclérotas pouvant atteindre une dimension de 6 mm de forme régulière (planche 4). Ce symptôme est caractéristique des attaques de *Sclerotinia*.
- Sur milieu PDA, le champignon responsable de cette pourriture présente une croissance rapide et envahit la boîte au bout de 03 jours à 25 °C. La colonie est de couleur blanche, dense, le mycélium est cloisonné et produit des sclérotas pouvant atteindre 1 cm. Le type de symptôme associé aux caractéristiques culturales du champignon *in vitro* confirme que nous sommes en présence de *Sclerotinia sclerotiorum*.

II.1.5. Le Mildiou

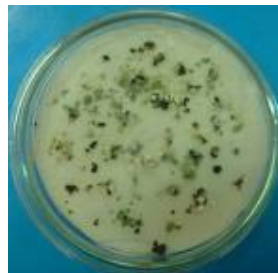
- Toutes les parties aériennes de la plante présentent des symptômes. Sur les feuilles, des taches se développent à partir de l'extrémité ou de la marge des folioles. Ces taches sont de larges plages huileuses sur la face supérieure des feuilles desséchées au centre, et correspondant à un duvet blanc sur la face inférieure (planche 5a). Les portions de nervures comprises dans ces plages brunissent. Les tâches brunes sur tiges et pétioles correspondent à un chancre. Les jeunes fruits mildioués présentent des bosselures brunes, dures et marbrées, avec parfois, un feutrage blanc. Ils ne parviennent pas à mûrir.
- Les tentatives d'isolement ont échoué, après consultation de la bibliographie, nous avons réalisé des observations directes au microscopique. L'observation du mycélium, prélevé directement sur les chancres montre un champignon non cloisonné. Les sporanges présentent une papille caractéristique. Les sporangiophores sont très ramifiés. Les sporanges ou conidies sont terminales (20-40 x 12-25µ). Ils ont une forme ovoïde, ellipsoïdale. Les sporangiophores sont isolés ou organisés en bouquet (planche 5c). Ces caractéristiques sont celles de *Phytophthora infestans* tel que décrit par Dugan (2006).



(a)



(b)



(c)

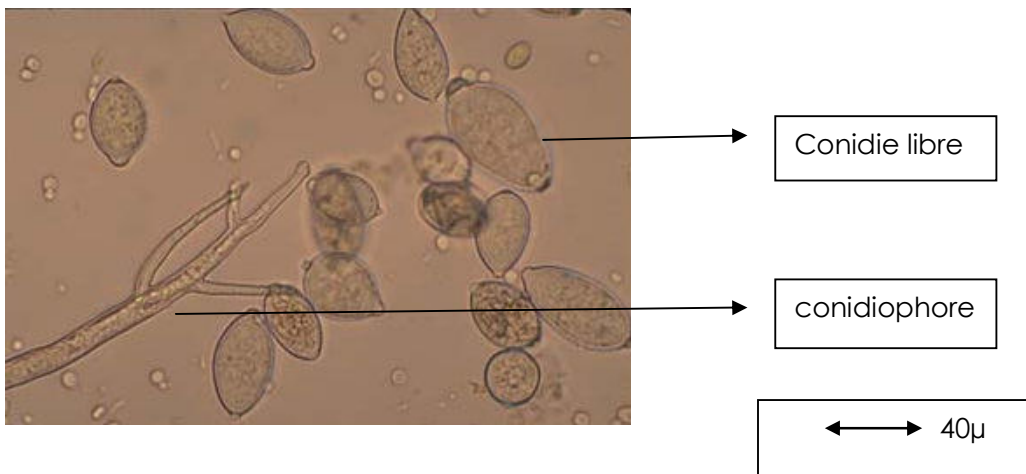
Planche 4 : Pourriture blanche

- (a) Chancre ceinturant la tige recouvert d'un mycélium blanc.
- (b) Coupe transversale de la tige : présence de sclérote noir.
- (c) Colonie de *Sclerotinia sclerotiorum* produisant des sclérotés



(a)

(b)



(c)

Conidie libre

conidiophore

←→ 40μ

Planche 5 : Le mildiou

(a) Attaque sur feuille : duvet blanc à la face inférieure.

(b) Fruits mildioués : marbrures.

(c) *Phytophthora infestans* : sporangiophore (conidiophore) et sporange (conidie).

II.1.6. L'Oïdium ou Blanc

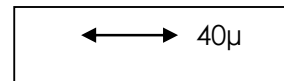
- Les premières attaques se caractérisent par l'apparition de taches blanches, poudreuses et arrondies sur la face inférieure (planche 6a). Ces colonies correspondent à des taches jaunes sur la face supérieure qui s'agrandissent pour aboutir au jaunissement puis au dessèchement de la feuille.

- L'observation directe en grattant superficiellement le blanc met en évidence des conidies allongées. Les conidies se présentent en courte chaîne, la première produite présente un apex pointu, les suivantes sont en forme de tonnelet. La culture sur milieu synthétique est impossible car c'est un parasite strict. Dans la littérature les mêmes types de symptômes sont provoqués par plusieurs espèces, cependant les observations directes confirment qu'il s'agit de *Leveillula taurica* ou de sa forme imparfaite : *Oidopsis taurica*.



(a)

(b)



(c)

Planche 6 : Oïdium de la tomate ou Blanquet

(a) Colonies du champignon (Blanc) d'une attaque récente

(b) Jaunissement sous la poudre (attaque ancienne).

(c) Spore de *Leveillula taurica* (*Oidiopsis*)

II. 2. Quantification de l'incidence des maladies sur la culture de tomate

Au cours des saisons culturales 2003 et 2004, nous avons identifié six maladies dues à des champignons. Le protocole que nous avons mis en place nous a permis de suivre environ 20000 plantes de tomates réparties sur 46 tunnels et les résultats obtenus durant les deux saisons montrent que les atteintes dues à *Botrytis cinerea* sont prédominantes comparativement aux autres pathologies (Fig.3 et Fig.4). Dans ce travail, nous avons choisi d'entreprendre une analyse qualitative même si la quantité de données récoltées nous permet de faire une étude quantitative.

- Durant le mois d'avril de la saison culturale 2003, plus de 80% des serres présentent des symptômes de *Botrytis* dont 6% ont subi des attaques importantes (N5) soit plus de 75 plants par serres. La pourriture grise a connu un développement important lors de la notation de Mai où on enregistre des atteintes sur tous les tunnels dont 50% sont notés à l'échelle 5 (Fig.3). A côté des attaques de *Botrytis*, nous observons des attaques importantes par l'Oïdium, dès le mois d'avril, qui atteignent environ 75% des serres en Mai. Cependant, l'incidence du blanc est inférieure à celle de *Botrytis* dans la mesure où seulement 17% des serres notées présentent des attaques importantes. Les autres maladies diagnostiquées sont de moindres importances et sporadiques et les tunnels présentant des attaques sévères sont généralement localisés dans les serres appartenant au même producteur. Une analyse des résultats de l'enquête montre que les tunnels irrigués à la rigole, et où le producteur ne pratique pas l'incinération des restes culturaux des saisons précédentes sont les plus exposés. L'utilisation de traitements préventifs est efficace dans les propriétés où l'on observe les plus faibles taux.
- Le suivi entrepris pendant l'année 2004 a montré la prévalence de la même pathologie (pourriture grise due à *Botrytis cinerea*) dans des proportions inférieures à celles observées en 2003. En effet, 80% des serres suivies présentent des symptômes en avril, et 95% en mai, parmi lesquelles 37% sont sévèrement touchées.

Par contre, Cette saison est caractérisée par l'émergence de la pourriture blanche due à *Sclerotinia* et par l'augmentation des taux des autres pathologies comme l'altérioriose et la cladosporiose (Fig.4). La diminution relative du taux des attaques de *Botrytis cinerea* est probablement liée à l'introduction du système du goutte à goutte dans plusieurs propriétés où nous avons enquêté. L'introduction de cette technique d'irrigation est rendue possible grâce à la politique mise en place par les pouvoirs publics dans le cadre du Fond National du Développement et de Revalorisation de l'Agriculture.

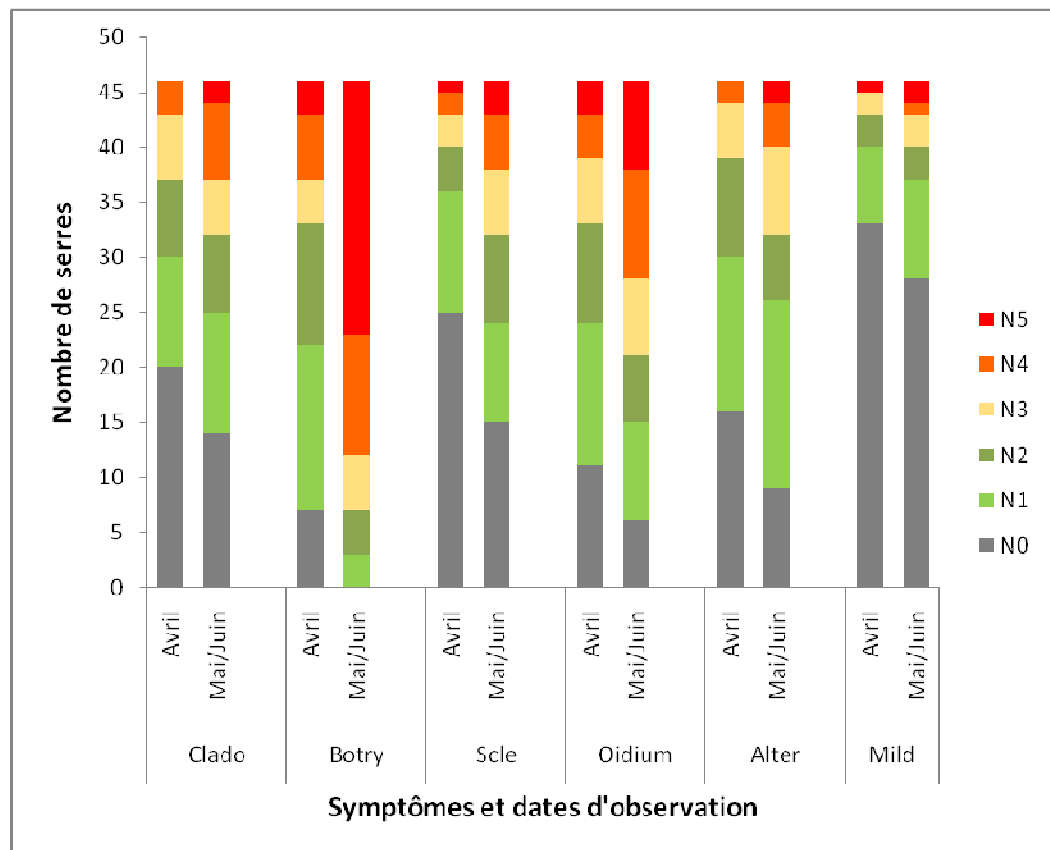


Figure 4 : Incidence et évolution des attaques sous serre durant la saison 2003

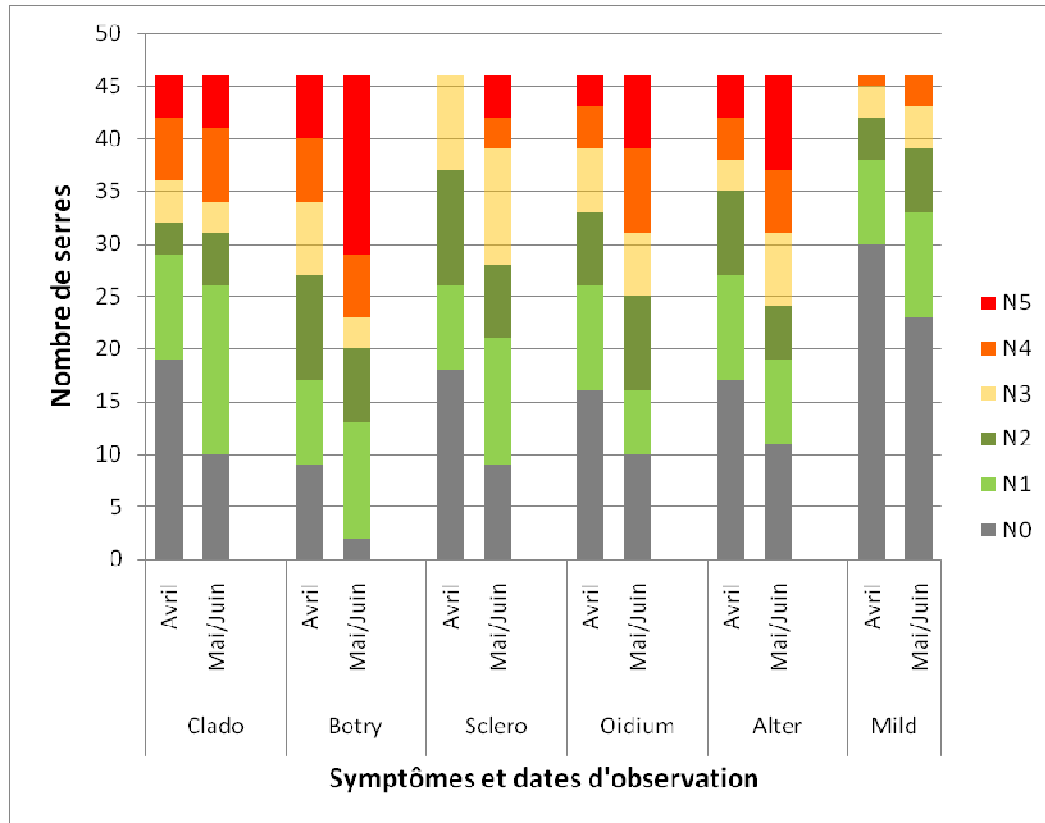


Figure 5 : Incidence et évolution des attaques sous serre durant la saison 2004

II. 3. Influence des pratiques culturales et de position géographique sur le développement des maladies

Dans cette étude, nous avons comparé la répartition de l’incidence des 6 maladies diagnostiquées en fonction de la position du site (bande côtière- vallée de la Soummam) et du système d’irrigation.

Il en ressort que les tunnels présentant des atteintes de *Botrytis cinerea* notées entre N1 et N 3 pour sont disposés respectivement à 45% dans la Vallée et à 55% dans la région côtière et la différence (Test de Student) est statistiquement insignifiante ($p=0,46$). Mais les tunnels dont l’incidence de la maladie est supérieure à N3 sont majoritairement implantés au niveau de la zone côtière et représentent 76% du nombre de tunnels atteints et la différence est significative ($p=0,001$). L’influence du système

d'irrigation est plus marquée sur le développement de la maladie. Les attaques sont toujours plus sévères (N4 et N5) dans le système rigole quelque soit la position géographique des tunnels. Les tests réalisés pour la cladosporiose et l'alternariose ont donné des résultats similaires

III. Conclusion

Les résultats obtenus ont montré que dans la région de Bejaïa, les maladies les plus dommageables en cultures protégées sont les mycoses aériennes. Parmi celles-ci, la pourriture grise occupe une place importante. Le premier élément qui ressort est la grande diversité des mycoses aériennes. Ces résultats sont proches de ceux obtenus lors de l'étude réalisée entre 1994 et 1997 dans la même région (Aissat, 2000). Cependant, les références dans la littérature internationale sur l'incidence des maladies en Algérie sont très rares malgré les nombreux travaux de recherches, entrepris dans le cadre des mémoires d'ingénieurs, dans différentes universités et instituts d'agronomie.

Comparativement à la situation au niveau méditerranéen et mondiale, nous observons l'absence des pathologies dues aux champignons du sol comme cela est le cas en France (Laterrot, 1990) et au Maroc (Besri, 1981). L'hypothèse qui peut être avancée est que le système de production dans ces pays est de type intensif (augmentation des rendements en diminuant les surfaces qui leur sont affectées), comparativement à l'agriculture algérienne qui est de type extensif, et orientée vers la précocité des récoltes. En effet, les travaux de recherches entrepris dans les pays européens ont montré une explosion des maladies du sol, en raison de l'absence de rotation, de l'utilisation excessive des intrants chimiques et par le fait que la recherche d'un meilleur rendement a conduit à l'apparition de souches très compétitives (Messiaen et al., 1991).

De même que dans le système sous serres verre où les conditions optimales pour la croissance des plantes sont réunies, l'environnement qui en résulte est idéal pour la majorité des microorganismes pathogènes. A côté de cela, les pratiques culturales ont un effet direct sur le développement des maladies. Dans cette étude, nous avons montré que les tunnels irrigués à la rigole sont sujets à des attaques plus sévères, quelque soit leur position géographique. Mais les tunnels irrigués par la rigole et implantés sur la bande

côtière présentent une incidence plus importante que ceux situés à Amizour (vallée). Cette différence n'est pas enregistrée dans le cas du système du goutte à goutte.

Cette étude nous permet d'entreprendre un travail de quantification pour apprécier l'incidence du système d'irrigation sur la principale pathologie diagnostiquée dans cette partie et de déterminer le niveau d'intervention de ce système dans l'épidémiologie de la pourriture grise.

Chapitre III.

Impact du système d'irrigation et de la disposition spatiale sur le développement épidémique de *Botrytis cinerea*

Introduction

Les productions légumières dans les régions arides et semi-arides, comme le Nord de l'Algérie reposent sur l'irrigation. Comme dans d'autres parties du monde (Ashcroft et al., 2003, Hanson et May, 2006 ; Locascio, 2005, Yoannes et Tadesse, 1998), les techniques d'irrigation les plus couramment utilisées en Algérie sont la méthode de la rigole et celle du goutte à goutte. De plus en plus, toutefois, l'irrigation au goutte-à-goutte est adopté par les agriculteurs du monde entier, y compris dans les serres de tomates non chauffés. Les études comparant l'irrigation à la rigole au goutte-à-goutte dans les cultures de tomates et dans d'autres cultures, ont montré que les systèmes de goutte-à-goutte ont généralement une meilleure efficacité dans l'utilisation de l'eau et, souvent, offrent des rendements plus élevés (Ashcroft et al., 2003 ; Flowers et al., 2005 ; Hebbar et al., 2004 ; Mansour et al., 2005 ; Singandhupe et al., 2003 ; Tiwari et al., 2005 ; Yohannes et Tadesse, 1998).

Les méthodes d'irrigation peuvent également avoir des effets importants sur le développement des maladies des végétaux (Rotem et Palti, 1969). L'eau a un effet direct dans le développement des pathologies végétales (Rotem et al., 1970). L'irrigation à la rigole a été associée à l'accumulation de sel, d'où la mortalité des semis, notamment dans plusieurs cultures de tomates et de poivron (Miyamoto et al., 1986). Cette même technique a été incriminée comme facteur favorisant le développement des maladies transmises par le sol. Les études menées sur la pourriture des racines de tomates, causée *Phytophthora parasitica*, irriguées par le système rigole, ont montré que la maladie se développe plus rapidement et sa sévérité est plus grande dans les parcelles qui ont reçu des traitements d'irrigation prolongée, par rapport à des d'irrigation moins fréquents (Ristaino et coll., 1988). Des résultats similaires ont été obtenus sur la pourriture des racines et des fruits du poivron causée par *P. capsici* (Café-Filho et al., 1995). Dans des études comparatives de l'irrigation au goutte-à-goutte et à la rigole, l'incidence des champignons du genre *Phytophthora* était plus élevée et le rendement commercialisable de poivron a été plus faible dans le système rigole que sous l'irrigation au goutte-à-goutte (Xie et al., 1999). De même, sur les cultures de laitue, l'incidence de la pourriture, causée par *Sclerotinia minor*, et le symptôme des racines liégeuses, causés par *Rhizomonas suberifasciens*, étaient sensiblement plus élevés dans le système rigole que sous irrigation au goutte-à-goutte (Subbarao et al., 1997 ; Wu et Subbarao, 2003).

En contraste avec ces résultats, le passage de la méthode rigole à l'irrigation au goutte-à-goutte peut ne pas toujours avoir des effets bénéfiques sur la santé des cultures. Nischwitz et al. (2004) ont signalé une augmentation de la pourriture en charbon sur melon, provoquée par *Macrophomina phaseolina*, en Arizona, quand les cultivateurs sont passés de la rigole au système d'irrigation au goutte à goutte. Ils ont trouvé des niveaux d'inoculum sensiblement plus élevés dans les échantillons prélevés sur des périmètres irrigués au goutte-à-goutte - que dans les rigoles. Ils ont suggéré que l'irrigation au goutte-à-goutte peut contribuer à une incidence plus élevée de la maladie. Pour d'autres maladies transmises par le sol, l'impact de la méthode d'irrigation est peu important. Par exemple, Xiao et al., (1998) n'ont signalé aucune différence significative dans l'incidence et la gravité du flétrissement verticillien du chou-fleur entre les parcelles irriguées par le goutte-à-goutte et les parcelles irriguées à la rigole dans les études réalisées en Californie.

Contrairement aux maladies du sol, très peu de données sont disponible sur un éventuel effet de l'irrigation sur le développement des maladies aériennes. Des études, menées en Californie centrale, ont montré une réduction des attaques de mildiou de la laitue, causé par *Bremia lactucae*, chez des plantes cultivées sous irrigation au goutte-à-goutte, par rapport à l'irrigation à la rigole (Scherm et van Bruggen, 1995). Mais, dans une autre étude, dans la vallée de Salinas, aucune différence significative n'a été observée entre les deux types d'irrigation (Subbarao et al., 1997). De même, Allen et al. (1992) ont indiqué que l'incidence de la brûlure bactérienne du coton, causée par *Xanthomonas campestris* pv. *Malvacearum*, est variable dans les parcelles d'une année à une autre suivant les deux méthodes d'irrigation.

Dans les cultures légumières sous abris en Algérie et dans la région méditerranéenne, la pourriture grise, causée par *Botrytis cinerea*, est l'une des plus graves maladies aérienne, tant en termes d'incidence qu'en termes de difficultés rencontrées par les producteurs pour sa gestion (Aissat, 2000 ; Elad et al., 1995). Comme l'eau peut jouer un rôle important dans l'épidémiologie des maladies (O' Neill, et al., 1997), nous avons émis l'hypothèse que le type de système d'irrigation pourrait influencer le développement de cette maladie, et que le fait de passer de l'irrigation traditionnel à la rigole vers l'irrigation au goutte à goutte pourrait aider les agriculteurs à réduire son impact.

L'objectif de ce travail est donc de comparer l'impact de l'irrigation au goutte à goutte et rigole sur le développement de la pourriture grise de la tomate sous dans des conditions commerciales.

I. Matériels Méthodes

I.1. Site expérimental

L'expérience a été menée dans cinq serres non chauffées situées sur une exploitation agricole privée. Le site est situé sur la bande côtière méditerranéenne de la wilaya de Bejaia au nord de l'Algérie (Fig 1). Cette région est caractérisée par la prédominance des productions végétales protégées. Chaque serre non chauffée a une dimension 50 mètres de longueur, 8 mètres de largeur et de 3 mètres de hauteur. Elle composée par une structure métallique (arcs de métal) recouvert d'un film plastique. Les serres étaient orientées nord-sud, à environ 50 mètres de la mer (nord). La Ventilation des serres est passive et a lieu à travers les portes (une à chaque extrémité de la serre) et à travers les ouvertures latérales -verticales obtenues en séparant les feuilles de plastique le long du tunnel (Figure 1).



Figure 6 : Serre non chauffée de tomate mettant en évidence les ouvertures latérales obtenues par écartement des bâches pour l'aération passive.

I.2. Conduite de la culture

Les jeunes plants de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. cultivar de l'Agora, Vilmorin, France) ont été produit localement, dans un petit tunnel et transplantés dans les cinq serres à l'âge de 60 jours, le 1er février 2004. Chaque serre contient 770 plants disposés en 7 lignes distantes entre elles de 0,8 m. Dans une ligne, la distance entre deux plants est 0,4 m, ce qui représente une moyenne de la densité de plantation d'environ 1,9 plant/m².

Tout au long de la saison, trois types d'engrais ont été appliqués à toutes les serres selon le stade de développement des plantes. Les engrais de base, NPK (15/15/15), ont été

appliqué avant la plantation lors du labourage à raison de 50 kg par serre. Puis, 10 kg d'ammonitrate (33,5%) ont été appliquées au moment du premier binage, trois semaines après la plantation. Cet apport a été renouvelé au début de la fructification (début avril) et au début de la récolte (début mai).

Le désherbage est effectué à la main trois semaines après la plantation. En raison du très fort développement des mauvaises herbes dans les raies des tunnels conduit à la rigole, cette opération a été répétée à intervalles réguliers tout au long de la saison (toutes les deux semaines jusqu'à la première récolte, puis une fois par mois au cours de la récolte).

Le désherbage est systématiquement accompagné par des travaux de buttage pour alléger le sol, protéger le système racinaire des plantes et pour maintenir la forme des sillons. Dans toutes les serres, les plantes ont été attachées, et, à partir de début avril, les bourgeons axillaires ont été régulièrement enlevés de telle manière à maintenir une seule tige principale (toutes les 2 semaines en moyenne). Les feuilles situées en dessous de la première fleur ont été retirées après la première récolte. Pour éviter un feuillage dense, de nouvelles tailles ont été effectuées régulièrement lors des récoltes successives ultérieures.

Tout au long de la saison de croissance, de l'eau ont été fournis soit dans le sillon d'irrigation appliquées à intervalles d'une semaine (pour une quantité de 20 litres d'eau par plant en une semaine) et deux fois par semaine pour les cultures conduite par le système de goutte à goutte (soit une quantité d'environ 8 litres d'eau par plant par semaine).

I.3. Protocole expérimental

Parmi les cinq serres commerciales disponibles pour l'étude, deux étaient irriguées par le système rigole et trois serres par l'irrigation au goutte-à-goutte. Dans chaque serre nous avons délimité 5 parcelles, contenant chacune 21 plantes réparties sur trois lignes parallèles (Fig. 2).

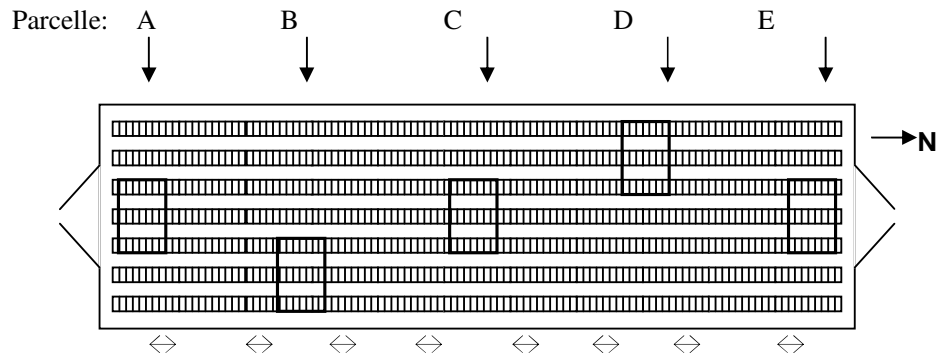


Figure 7 : Représentation Schématique d'une serre montrant les 7 rangées de plantes (chaque plant est représenté par un petit rectangle) et les 5 parcelles (A à E), chacune est représentée par un large rectangle. Les doubles fleches (↔) indiquent la position des ouvertures latérales indiquées sur la Figure 6.

L'environnement de serre est connu pour la diversité de la distribution spatiale hétérogène de son microclimat (Boulard et al., 1999). Pour des maladies tributaires du climat telles que la pourriture grise, cette situation est susceptible d'avoir des incidences en termes de développement de la maladie. Comme nous n'avons pas l'équipement adéquat pour suivre cette hétérogénéité au cours de l'expérience, les parcelles ont été sélectionnées pour maximiser le potentiel d'exposition à cette hétérogénéité.

Lors du choix des parcelles, nous avons pris en considération les paramètres liés à l'ensoleillement et l'hétérogénéité liée aux courants d'air générés par les portes et les ouvertures latérales. Dans chaque parcelle, toutes les plantes ont été examinés individuellement tous les 8 jours et l'incidence de la pourriture grise sur les feuilles, tiges et fruits a été enregistrée de la fin mars jusqu'à la fin du mois de juin (12 des observations).

I.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel de Statistica (Statsoft, Inc, Tulsa, USA). Lors des analyses nous avons utilisé le test de Student pour étudier l'effet de l'irrigation sur l'âge moyen des plantes lors de la première attaque et sur le taux moyen de mortalité. L'analyse de la variance par la comparaison multiple des moyennes a été réalisée pour étudier l'effet de la disposition spatiale des parcelles sur les différents paramètres considérés en fonction du système d'irrigation. Cette comparaison

est traduite par le test de Newman et Keuls. Pour faciliter le test des hypothèses concernant la cinétique de développement de la maladie, les études sur l'épidémiologie des plantes sont réalisées en calculant l'aire sous la courbe de progression de la maladie (AUDPC) Madden et al. (2007). Lorsque l'évaluation de la maladie est réalisée à intervalles réguliers, la surface sous la courbe peut être calculé comme suit :

$$AUDPC = \left[Y_1/2 + \sum_2^{n-1} Y_j + Y_n/2 \right] X I$$

ou Y_j est la maladie observées au jour J , n est le nombre total d'observations, et I est le nombre de jours entre chaque observation. Dans notre étude, nous avons calculé ces valeurs pour 12 dates d'observations de 8 jours d'intervalle, durant la période allant du 53 à 141 jours après la plantation de jeunes plants dans les serres. Dans notre étude, nous avons calculé l'AUDPC 53 à 141 jours après la plantation.

II. Résultats et Discussion

II.1. Effets du système d'irrigation sur la cinétique et sur la précocité des attaques

Suivant les deux systèmes d'irrigation et sur toute la durée de l'expérimentation les courbes de progression de la maladie par organe sont distinctes (Fig. 2). Quelque soit le paramètre pris en compte (feuille, tige, fruit,), les attaques sont systématiquement plus précoces en système rigole qu'en goutte à goutte.

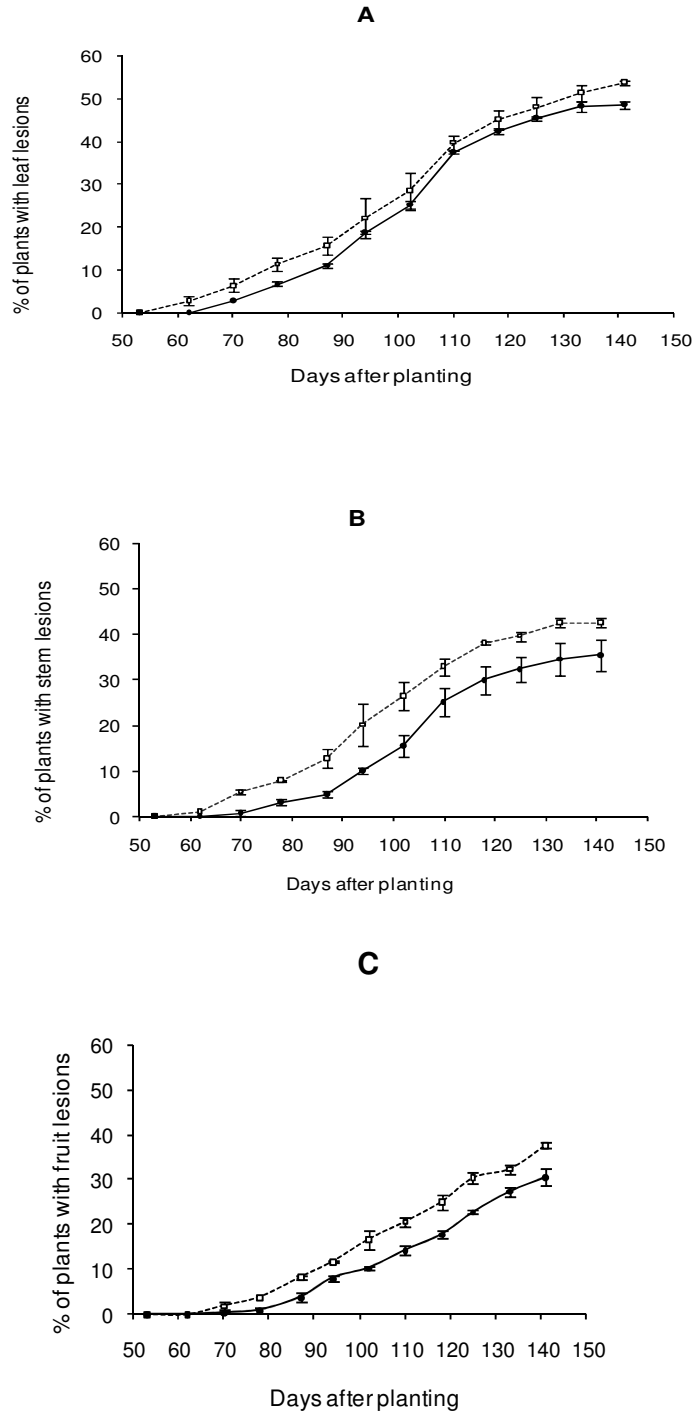


Figure 8 : Kinetics of disease incidence on leaves, stems and fruits in tomato greenhouses, as affected by irrigation type. The time scale is measured in days after the 60-day-old tomato seedlings were transplanted into the greenhouses. Vertical bars represent the standard error of the means (averages of three values for drip irrigation and of two values for furrow irrigation).

En irrigation rigole, elles débutent à 62 j sur feuille et tige et à 70 j sur fruit. Dans le système goutte à goutte, les attaques débutent à 70j sur feuille et fruit et à 78j sur tige. La comparaison des moyennes des AUDPC, calculées à partir de la courbe de progression du taux de plantes attaquées et par organe, obtenues pour les deux systèmes d'irrigation montrent une différence significative pour les atteintes sur tiges, fruits. Par contre aucun effet statistiquement significatif de l'irrigation n'est enregistré pour les attaques sur les feuilles (Tab. I).

Tableau 7: Effet du système d'irrigation sur la cinétique du développement de la maladie

Attacked plant organ	Type of irrigation		p value ²
	Drip	Furrow	
Stem	1388.6 ¹	1979.1 ¹	0.0002
Fruit	969.5	1360.9	0.04
Leaf	2097.3	2381.9	0.45

- ¹ Each figure represents the mean value of the Areas Under the Disease Progress Curves computed from the date of plantation to the end of the trials as indicated in Figure 3.
- ² Student's t test of equality of means (averages of three values for drip irrigation and two values for furrow irrigation)

Les différences entre les 2 systèmes se maintiennent tout au long de la culture (Fig. 8). C'est sur feuilles que les attaques sont les plus élevées en fin de culture (140j) avec 53.81% avec le système rigole et 48.25% en goutte à goutte, avec une forte progression entre 94 et 110j pour les 2 systèmes. Sur tige, la courbe de progression des attaques enregistre une forte progression des lésions entre 78j à 110j pour le système rigole avec un maximum de plante touchées à 133j. Dans le système en goutte à goutte, le taux maximum des attaques est atteint en fin d'expérimentation à 141j et une forte progression est enregistrée entre 87j et 110j. Le taux de fruit touché connaît une progression visible dès 70j dans l'irrigation à la rigole et à 87j en goutte à goutte avec l'enregistrement de taux élevés pour les deux systèmes à 141j. Cependant, les notations sur fruit ont été altérées par les récoltes qui ont débuté fin avril (103j).

La comparaison de l'âge moyen des plantes lors de l'apparition de la première attaque sur les différents organes montre qu'aucune différence statistiquement significative n'est observée entre les feuilles et les fruits dans les deux types de conduites. Mais la différence est statistiquement significative pour la précocité des attaques sur tige (Tab. II).

Tableau 8: Effet du système d'irrigation sur la précocité des attaques selon le type d'organe

Attacked plant organ	Type of irrigation		p value ²
	Drip	Furrow	
Stem	106.3 ¹	98.8 ¹	0.02
Fruit	112.7	108.4	0.15
Leaf	101.4	101.2	0.98

¹ Each figure represents the relative age of the plants (in days after plantation of the 60-day-old seedlings in the tunnels) at the time when they were first attacked. The plants that remained healthy were excluded from this analysis.

² Student's t test of equality of means (averages of three values for drip irrigation and two values for furrow irrigation).

Les attaques sur tiges (98.8j) surviennent en moyenne avant les atteintes sur les feuilles (101.2j) dans le cas de l'irrigation à la rigole et cet enchainement est inversé dans le cas du goutte à goutte (Tab. II).

II.2. Effet du système d'irrigation sur la mortalité

La comparaison des moyennes d'âge de la mort des premières plantes, attaquées sur les tiges, montre que les plantes conduites en goutte à goutte meurent plus tardivement (141.9j) que celles irriguées à la rigole (137j). Cette différence est statistiquement significative (0.025). Les premières mortalités sont observées à 94j dans le système rigole à 110 j dans le cas de l'irrigation au goutte à goutte. Le pourcentage de plantes mortes à la fin l'expérimentation est de 17.07% dans le système rigole et de 8.99% en goutte à goutte (figure 9). Le nombre moyen de lésions tige par plante est utilisée comme une mesure de la gravité de la maladie. Tout au long de l'expérience, la gravité de la maladie est restée systématiquement plus élevées sur les

plantes irriguées à la rigole comparativement aux plantes conduites sous l'irrigation au goutte-à-goutte (Fig. 8).

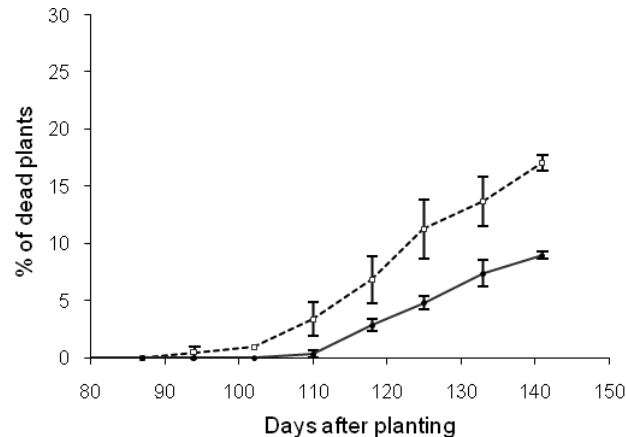


Figure 9 : Kinetics of plant mortality due to grey mould as affected by irrigation type. Vertical bars represent the standard error of the mean (averages of three values for drip irrigation and two values for furrow irrigation).

II.3. Effet du système d'irrigation sur la sévérité des attaques sur tiges

Les attaques sur tiges exprimées par le nombre moyen de chancre par plante sont plus accentuées dans le cas de l'irrigation à la rigole durant toute la durée de l'expérimentation (Fig.10). Les cultures conduites à la rigole présentent en moyenne 1,3 chancres/plante alors que les plantes irriguées en goutte à goutte présentent en moyenne de 0,9 chancre/plante. La comparaison des moyennes des AUDPC, calculées à partir de la courbe de progression du nombre moyen de chancre par plante pour les deux systèmes d'irrigation montrent une différence significative ($p= 0,014$).

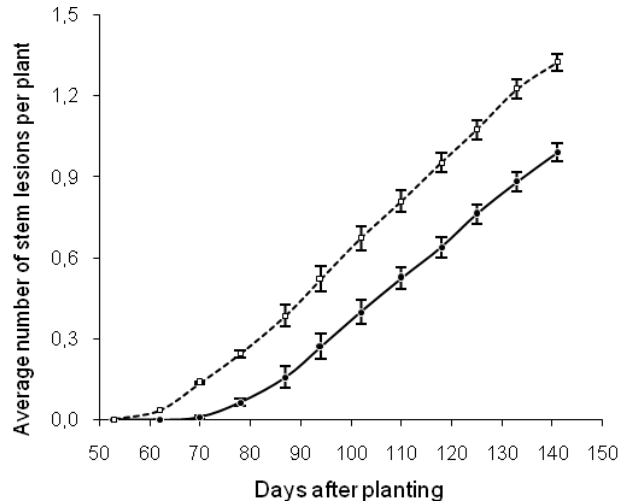


Figure 10: Evolution of severity of attacks on stems as affected by irrigation type. Vertical bars represent the standard error of the mean (averages of three values for drip irrigation and two values for furrow irrigation).

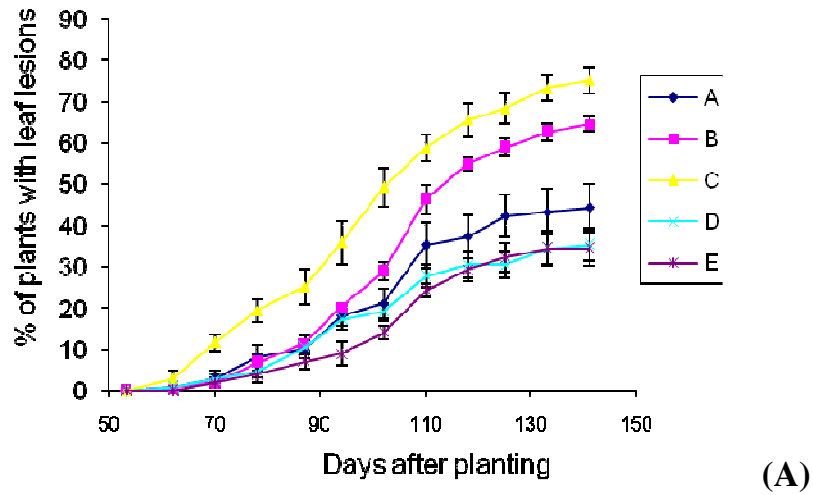
Au cours de la saison de croissance, la pratique régulière de l'effeuillage (après chaque récolte) et d'ébourgeonnage (consiste à maintenir une seule tige principale en coupant les bourgeons axillaires) fournies de nombreuses blessures susceptibles d'être infectées par *B. cinerea* et d'aboutir à la formation de nouveau chancres sur les tiges. Occasionnellement, nous observons une expansion des lésions vers les feuilles ou les fruits à partir des chancres des tiges, ce processus a été décrit par Shtienberg et al., (1998) pour les mêmes types de systèmes de production de la tomate. Globalement, les infections sur plusieurs organes ne sont pas d'une plante ne sont pas rares.

II.4. Hétérogénéité spatiale des attaques dans les tunnels

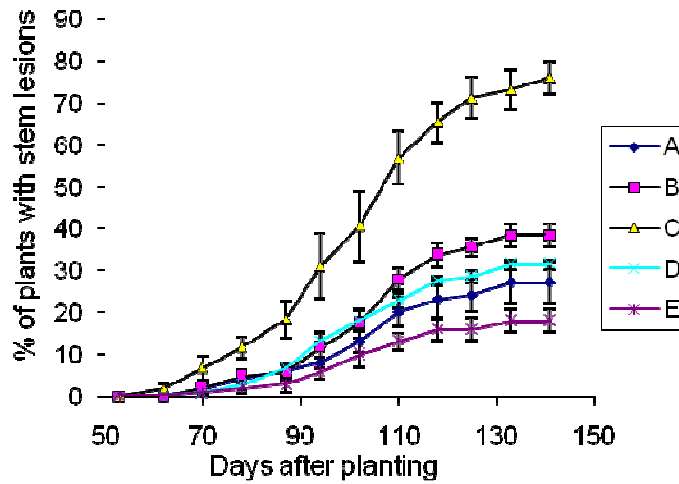
Au cours de la campagne d'évaluation de la maladie, le manque d'homogénéité dans la répartition spatiale des plantes malades ou mortes a été constaté dans toutes les serres. L'effet « parcelle » a été mis en évidence par l'analyse de la variance sur les valeurs de l'AUDPC pour tous les indicateurs de prévalence de la maladie et de sa sévérité et de son incidence sur la mortalité des plantes. Un effet significatif a été relevé (valeurs $P < 0,05$), dans tous les cas sauf un (Tab. III). La comparaison de la cinétique des attaques sur les organes par parcelle montre que la parcelle C se distingue (figure 11) des autres positions.

Les courbes de progression des lésions sur les plantes de cette parcelle sont différentes le long de l'expérimentation. Les figures 12 et 13 montrent que les parcelles « C » présentent les plus forts taux de plantes mortes quelque soit le système d'irrigation, les parcelles "E" les emplacements "A", présentent le plus faible taux de plantes mortes.

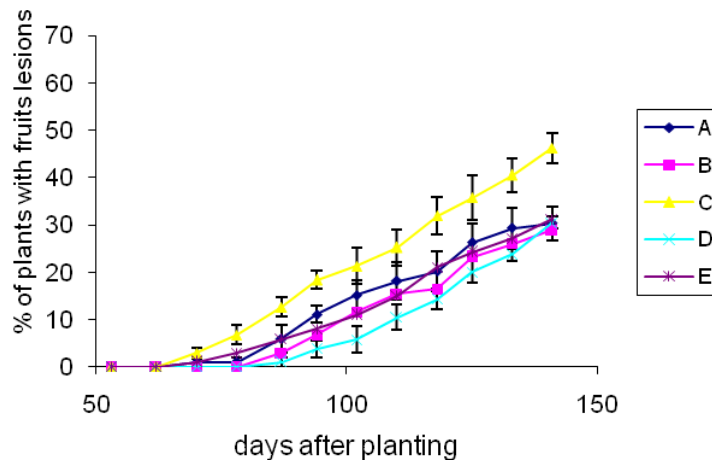
D'autres analyses, en utilisant le test de Newman et Keuls' pour la comparaison multiple des moyennes, a permis d'identifier les endroits de la serre où les niveaux de maladie ou de mortalité des plantes sont statistiquement significatifs et différents ($p < 0,05$). Tant dans les serres irriguées en rigole, qu'en goutte-à-goutte, le développement de la maladie a été, largement, plus fort dans les parcelles "C", situé dans le centre de la serre, et elle tend à être plus faible dans les emplacements "E" et dans les emplacements "A", situés près de l'entrée de la serre, que dans les emplacements "B" et les parcelles "D", situés plus en profondeur dans les serres (figure 2). Certaines de ces différences sont statistiquement significatives pour les trois indicateurs de la maladie dans les serres irriguées au goutte-à-goutte (Tab. III).



(A)



(B)



(C)

Figure 11: Cinétique de l'incidence de la maladie sur feuilles (A), tiges(B) et sur les fruits (C) de la tomate sous serre selon la disposition des attaques par parcelle. Les barres verticales représentent l'erreur standard (τ).

Tableau 9: Hétérogénéité du développement de la maladie et de la mortalité des plantes selon la disposition spatiale des parcelles dans les tunnels.

Type of greenhouses / Plots ¹	Disease incidence on			Disease severity on stems	Plant mortality
	stems	leaves	fruits		
<u>Furrow irrigation</u>					
A	1370 ³ a ⁴	2410 ab	1630 a	1050 a	200 a
B	1886 a	2792 ab	1027 a	948 a	334 a
C	4164 b	3520 b	1944 a	1852 b	851 b
D	1362 a	1515 a	1638 a	900 a	210 a
E	1114 a	1673 a	1565 a	756 a	213 a
P value ²	P=0.0003	P=0.0002	P=0.07	P=0,01	P=0.0003
<u>Drip irrigation</u>					
A	973 ab	1611 ab	822 a	537 b	108 a
B	1365 b	2470 b	870 a	731 b	165 a
C	2762 c	3613 c	1612 b	1296 c	375 b
D	1333 b	1600 ab	832 a	589 b	127 a
E	510 a	1193 a	711 a	285 a	20 a
P value ²	P=0.0001	P=0.04	P=0.003	p=0,00006	P=0.0003

¹The location of the plots (A, B, C, D, and E) inside the greenhouses is indicated in Figure 2.

²P values for the tests of Fisher in analyses of variance.

³Each figure represents the mean value of the Areas Under the Disease Progress Curves computed from the date of plantation to the end of the trials as indicated in Figure 3.

⁴Within each column for a given type of irrigation, the numbers followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$) according to Newman-Keuls' Test for multiple comparison of means.

Pour expliquer cette hétérogénéité spatiale de développement de la maladie, on peut envisager l'hypothèse que le mouvement de l'air est plus réduit dans le centre de la serre en raison de l'abondance et de la croissance rapide de la végétation, et par voie de conséquence, un taux d'humidité relative plus élevé et plus propice à la maladie. De même, on peut s'attendre à ce que, plus le mouvement de l'air est élevé, plus l'humidité relative est faible. C'est ce qui s'est produit près des portes des serres, souvent ouvertes au cours de la saison de croissance, et jamais hermétiques.

Bien qu'il n'y ait pas de suivi de mesures sur les données environnementales au cours de la présente étude, cette hypothèse est compatible avec l'information existant dans la littérature internationale, sur l'hétérogénéité de la répartition des mouvements de l'air et d'autres paramètres physiques dans différents types de serres (Boulard et al., 1997; Boulard et al., 2004; Wang et Boulard, 2000). En outre, la comparaison des régimes d'aération dans les serres de tomates au Portugal a montré que l'amélioration de l'aération nocturne réduit le développement de la moisissure grise (Abreu et al., 1994; Meneses et al., 1994).

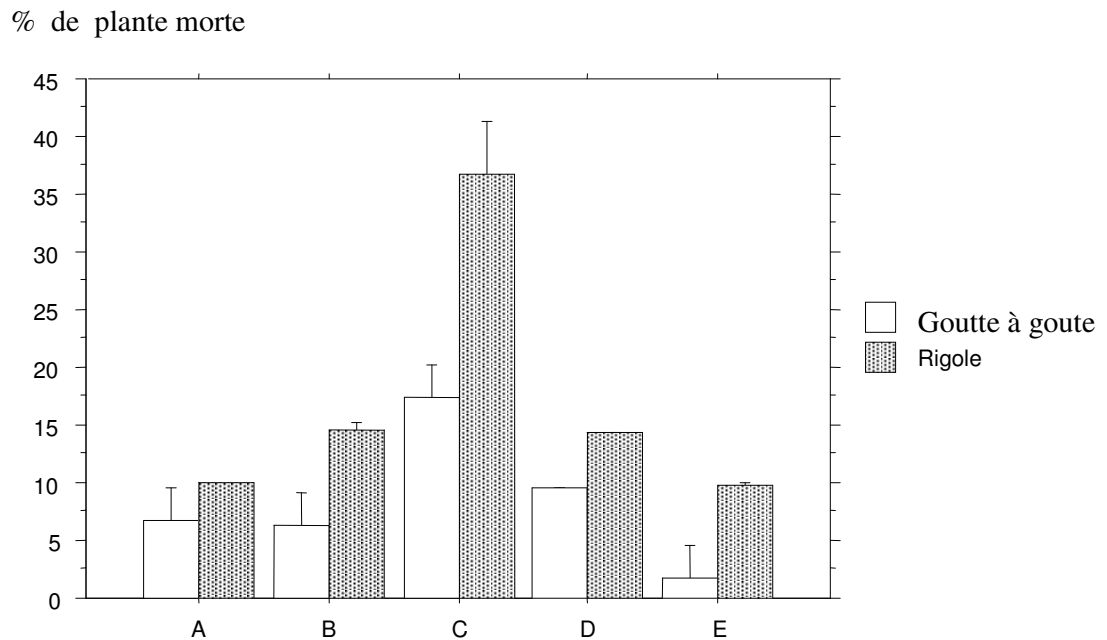


Figure 12 : Répartition comparée de la mortalité par parcelle et par type d'irrigation

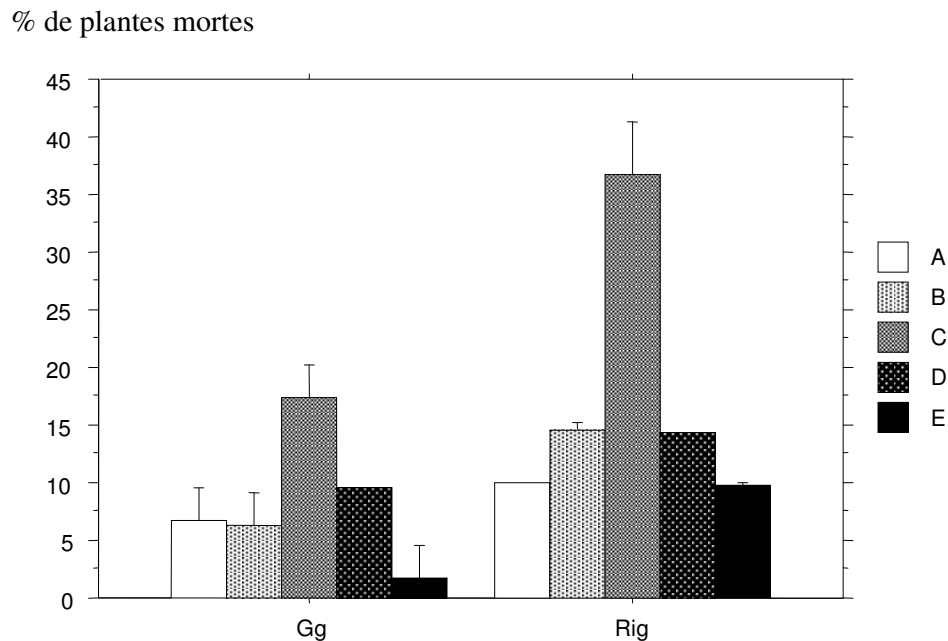


Figure 13: Répartition en pourcentage des plantes mortes par parcelle et par système d'irrigation

III. CONCLUSION

La présente étude a révélé de nettes différences dans le développement de la pourriture grise dans les serres conduites sous irrigation au goutte-à-goutte et à la rigole. Nous considérons qu'elle a également fourni les premières données officielles sur la cinétique des épidémies de *Botrytis* et de la prévalence de la maladie dans les cultures maraîchères abritées, en Algérie. Pendant toute la durée de l'essai, tous les indicateurs de l'incidence de la maladie, de sa sévérité et du taux de mortalité des plantes sont restés inférieurs dans les serres irriguées au goutte-à-goutte comparativement à ceux irrigués par le système rigole.

Dans d'autres cultures telles que le poivron et la laitue, les études ont démontré que le mildiou et certaines maladies transmises par le sol ont été moins fréquentes dans l'irrigation selon le goutte-à-goutte que dans l'irrigation par aspersion ou à la raie (Wu et Subbarao, 2003; Xie et al., 1999; Subbarao et al., 1997; Scherm et van Bruggen, 1995).

Dans le cas de la présente étude, et comme l'inoculum de *B. cinerea* était essentiellement constitué de conidies en suspension dans l'air, un effet direct de l'eau du

sol sur l'agent pathogène est peu probable. Les conidies de *Botrytis* sont produites en abondance sur les tissus végétaux malades et sont facilement transportées par les courants d'air. Les premières étapes de Pathogenèse de la pourriture grise (la germination des spores et la création d'une petite colonie primaire de la plante hôte) sont connues pour être très dépendantes de la présence d'une humidité relativement élevée (Holz et coll. , 2004; O'Neill, et coll. , 1997) .

L'hypothèse émise, pour expliquer la différence dans le développement de la maladie dans les serres conduites par l'irrigation au goutte-à-goutte et à la rigole, est que suffisamment de différences dans les conditions microclimatiques, en particulier celui de l'humidité relative ont pu se produire dans le voisinage des organes des plantes cibles. En effet, l'application d'une quantité d'eau supérieure à la surface du sol dans les serres irriguées à la rigole et l'abondance de mauvaises herbes dans ces cultures (observation enregistrée dans notre enquête de terrain) peuvent tous fournir un complément de vapeur d'eau pour l'un et un obstacle à la circulation de l'air dans la partie inférieure de la végétation pour l'autre.

Dans cette étude, nous ne disposions pas de ressources qui nous auraient permis de réaliser un suivi des paramètres microclimatiques à proximité de la végétation dans les serres, pendant toute la saison. Toutefois, cela devrait être l'objectif des travaux futurs car nos données ont fourni des preuves indirectes pour appuyer l'hypothèse de différences de microclimat. Un autre élément qui appuie notre hypothèse est l'hétérogénéité spatiale des symptômes observée dans les deux systèmes. Cette hétérogénéité est plus faible dans les parcelles centrales "C" et plus élevée dans les emplacements "A" et "E", situés près de la porte. Il ne serait pas illogique, que les différences de taux d'humidité relative, dues au système d'irrigation, puissent avoir moins d'effet dans des conditions très humides, que dans les zones moins confinées des serres.

En conclusion, les résultats de la présente étude suggèrent que le passage du système traditionnel d'irrigation à la rigole au système goutte à goutte dans la production de tomates de serre pourrait avoir un effet bénéfique dans le contrôle de contre *B.cinerea*.

Chapitre IV

Discussion générale et perspectives s

Bilan des travaux et Perspectives

Afin d'établir un bilan des principales maladies cryptogamiques sur la culture de tomate sous serre, estimer leur incidence et apprécier l'influence de certains paramètres cultureux sur leur développement dans la région Béjaïa, nous avons procédé par étapes :

La première phase de notre travail a consisté à étudier, sur le terrain, les conditions entourant l'apparition des maladies. Cette phase nous a permis de faire le point sur les pratiques culturales couramment entreprises dans le système agricole algérien grâce à l'élaboration d'un questionnaire.

La deuxième phase a visé à établir un inventaire des mycoses sévissant sur la culture de tomate, à identifier les agents pathogènes responsables, à réaliser un travail de quantification, à décrire les conditions entourant leur apparition et à déterminer les facteurs d'aggravation.

Dans la troisième partie, nous avons réalisé une analyse comparative du développement de la principale pathologie recensée dans notre étude, liée aux deux systèmes d'irrigation que sont la méthode traditionnelle par la rigole, ou raie, et la méthode nouvellement introduite, le goutte à goutte. Cette étude nous a permis d'élucider un aspect épidémiologique de la pourriture grise de la tomate.

Ce travail étant une contribution à l'amélioration de la situation sanitaire des cultures légumières, nous le concluons par une proposition en vue d'une gestion intégrée et durable de la situation sanitaire des cultures sous abris en générale et de la tomate en particulier.

I. Bilans des travaux

I. 1. Situation phytosanitaire de la culture de tomate sous abris à Béjaïa

La prospection que nous avons réalisée au niveau de la willaya de Bejaia, pendant les campagnes 2003/2004 et 2004/2005, nous permet de dresser un bilan partiel, mais représentatif, des différentes affections que nous retrouvons en Algérie sur la culture de la tomate sous abri plastique. Dans ce qui suit, nous discuterons de l'importance comparée des maladies diagnostiquées dans notre étude, en comparaison

avec la situation qui prévaut au niveau mondial en général et dans le bassin méditerranéen en particulier.

L'importance de la tomate à l'échelle mondiale, produite annuellement à 60 millions de tonnes, dont environ le tiers dans le bassin méditerranéen (Anonyme, 2006), expose cette culture à de nombreux parasites. Dans cette prospection, nous avons identifié six agents pathogènes, responsables d'attaques aériennes : *Botrytis cinerea* (pourriture grise), *Alternaria solani* (Alternariose), l'Oïdium (poudre blanche ou blanquet), la *Cladosporium flavum* (Cladosporiose), *Phytophthora infestans* (Mildiou) et *Sclerotinia sclerotiorum* (Pourriture blanche).

La gravité des attaques du *Botrytis cinerea* dans cette région est à la hauteur de celle signalée dans les pays méditerranéens voisins (Laterrot, 1990) et moindre que celle rapportée par Fletcher et al., (1977), dans une enquête attribuant à cette maladie 70% des lésions sur les tiges et 91% sur les feuilles de tomate. Il est difficile de combattre ce parasite quand une épidémie est déclarée, du fait de ses capacités à développer une résistance aux différents fongicides existants (Rouxel et Alabouvette, 1991). Cette situation est d'autant plus grave que les études pour l'obtention de variétés résistantes n'ont donné, jusqu'ici, aucun résultat positif (Laterrot, 1990).

D'autres maladies aériennes courantes, sous abris, en pays méditerranéen, ont été diagnostiquées dans notre travail ; leur incidence sur les rendements est variable, avec cependant, des attaques prononcées de *Alternaria solani* et de l'Oïdium. Les atteintes provoquées par ces pathogènes sont comparables, en proportion, à ceux enregistrés en France, sur la culture de tomate industrielle et sous abris (Blancard et al., 1986 ; Fabregue, 1986). Les symptômes de blanc de la tomate sont souvent cités dans la littérature, comme étant causés par plusieurs espèces. En effet, une espèce nouvelle, *Oïdium lycopersici*, a été associée à ce type de symptômes, dans plusieurs régions du monde (Kiss et al. 2001 ; Jones et al. 2001). Par contre dans notre travail, seule *Leveillula taurica* a été identifiée. Mais cela n'exclut pas la présence de l'*Oïdium neolycopersici* en Algérie car ce nouveau pathogène apparaît durant les périodes chaudes, alors que nos prélèvements ont été effectués lors de la première sortie ou observation de ce symptôme (Avril), période où la chaleur ne s'est pas encore installée.

Les notations, que nous avons consignées concernant plus de 20 000 plantes réparties dans 46 tunnels, au cours de deux saisons culturales successives, nous permettent de réaliser une analyse des données pour, d'une part, identifier les pathologies et estimer leur incidence, d'autre part.

La quantification a montré :

- La prédominance des attaques du *Botrytis cinerea*, qui a causé des dommages considérables sur la tomate, présente dans plus de 80% des tunnels avec des taux d'attaques importants. Plus de 50% des tunnels suivis présentent des symptômes sévères et sont notés à l'échelle 5, c'est-à-dire que plus de 75 plantes par tunnel, sont touchées.
- Une analyse de l'effet de la répartition des plantes malades en fonction de la position géographique des tunnels dans la zone d'étude et du type d'irrigation a montré que :
 - La position géographique n'influe pas sur la répartition globale de la maladie entre la vallée de la Soummam et la région côtière ($p=0,46$), mais qu'une influence statistiquement significative ($p=0,001$) est enregistrée pour les tunnels présentant des atteintes sévères ($N \geq 3$), dans ce cas les tunnels situés sur le littoral sont plus touchés.
 - L'irrigation a un impact direct. Les attaques les plus sévères ($N=5$) sont prédominantes dans les tunnels irrigués à la rigole comparativement à ceux irrigués au goutte à goutte et ce, indépendamment de leur position géographique.
 - Les attaques d'Oïdium sont enregistrées essentiellement dans les tunnels situés au niveau des stations de la vallée de la Soummam.

I. 2. Relation entre l'environnement culturel et la situation phytosanitaire

Nous avons vu que certains paramètres considérés dans notre enquête peuvent déterminer l'apparition de telle ou telle maladie. Leur effet sur le développement des maladies est important et mérite donc d'être pris en compte dans la recherche d'une meilleure gestion des productions.

- **L'irrigation :**

L'effet néfaste de l'irrigation à la rigole a été mis en évidence et quantifier sur *Botrytis cinerea*, mais les analyses statistiques de la répartition des maladies en fonction du système d'irrigation a montré que les taux de plantes atteintes sont plus élevés dans les tunnels irrigués à la rigole, à l'exception de la Sclérotiniose et de l'Oïdium, qui ne sont pas influencés par la méthode d'irrigation.

Les mêmes niveaux d'attaque sont enregistrés dans les deux systèmes d'irrigation considérés dans notre étude.

A côté de cet impact sur les maladies, nous avons relevé que la quantité d'eau apportée pour la culture de tomate dans le système rigole est deux fois supérieure à celle apportée par le système du goutte à goutte qui permet par ailleurs de répartir les apports en eau le long de la semaine (2 applications par semaine). Cette nouvelle technique d'irrigation permet donc de faire des économies d'eau en assurant, par la même, une meilleure fréquence des apports pour la culture.

- **Les Amendements :**

La fertilisation et les amendements interviennent directement sur l'état physiologique des plantes. Un excès ou un manque en ions dans le sol provoque la faiblesse des plantes, ce qui augmente sa sensibilité vis à vis des attaques de pathogènes (Blancard et al., 1988 ; Soltner, 1983). De notre étude, malgré les difficultés rencontrées pour apprécier les quantités apportées, il ressort que les fertilisations sont réalisées de manière empirique. Les apports ne sont pas réalisés selon le type de sol et le type d'irrigation, ce qui peut expliquer la forte présence des parasites de faiblesse dans notre inventaire. Les quantités, la nature des engrais et la fréquence des apports sont homogènes pour tous les tunnels et sont dépendants de la disponibilité et du coût des produits.

- **Rotations :**

Pour les rotations, il est admis que la répétition de cultures d'hôtes sensibles à un parasite tend à faire augmenter le potentiel d'inoculum dans le sol. La Tomate, le Concombre et le Poivron sont les espèces les plus fréquemment cultivées, en alternance

saisonnaire dans la région étudiée. L'introduction de nouvelles espèces telles que la Laitue et les Phaséolées (Haricot) est une possibilité pratique et réalisable dans cette région. Elle permettrait d'espacer le retour des cultures sensibles à une maladie dominante et de diminuer l'inoculum dans le sol et donc le risque de développement des maladies (Hord et Ristaino, 1992).

- **Choix des variétés :**

Les variétés de la tomate sont nombreuses. Le choix d'une variété est dicté par la qualité des fruits, le rendement, l'adaptation au milieu et sa résistance aux pathogènes (lutte génétique ou variétale) recensés dans une région déterminée. La variété la plus utilisée dans la région de Béjaïa est AGORA, hybride F1 à croissance indéterminée. Elle est résistante au *Verticillium* (V), à la Fusariose vasculaire (Fo), au *Stemphylium* (St) et au Nématodes (N). Dans la région de Béjaïa et en Algérie en général, l'utilisation d'une variété est souvent fonction de sa disponibilité sur le marché. L'absence de suivi phytosanitaire pour déterminer les maladies prédominantes en Algérie ou signalant l'émergence de nouvelles pathologies est à l'origine d'un choix inadapté de la variété. Cette tâche était autrefois prise en charge par les services de la protection des végétaux (INPV), organisme du ministère de l'Agriculture.

- **Méthodes de lutte utilisées :**

Parallèlement à la lutte génétique, c'est la lutte directe contre les microorganismes, en utilisant des molécules chimiques, est la plus largement utilisée et l'emploi des produits chimiques est en progression constante (Leroux, 2004).

Dans notre enquête, il apparaît que les dithiocarbamates (Manèbe, Zinèbe...) sont les fongicides les plus utilisés ; leur emploi est systématique dans la majorité des exploitations. La méconnaissance des spectres d'action des produits commercialisés est l'élément le plus préjudiciable, car souvent l'apparition des souches résistantes est liée aux pratiques thérapeutiques (choix du produit selon la pathologie et la posologie pour son application). On peut noter aussi que la qualité des produits est discutée par les agriculteurs surtout pour le fongicide le plus utilisé : le Manèbe.

En effet, ce produit est très sensible aux conditions de stockage, un excès d'humidité et des températures élevées provoquent sa dégradation comme le confirme « the

Agrochemical hand Book » (1991). De même, que la conformité de certains produits est discutable dans la mesure où les étiquettes sur les produits n'indiquent pas la date de péremption.

Les maladies que nous avons identifiées dans notre enquête sont probablement favorisées par la non maîtrise des nouvelles techniques culturales liées à la plasticulture.

I. 3. Gestion des épidémies de *B. cinerea*

L'étude sur l'impact du système d'irrigation a révélé de nettes différences dans le développement de la pourriture grise dans les serres conduites sous irrigation au goutte-à-goutte et à la rigole. Nous considérons, aussi, qu'elle a également fourni les premières données officielles sur la cinétique des épidémies de *Botrytis* en Algérie. Les études, disponibles, dans la littérature ont porté sur les maladies du sols et plus particulièrement *Phytophthora* sp.

Dans d'autres cultures telles que le poivron et la laitue, les études ont démontré que le mildiou et certaines maladies transmises par le sol ont été moins fréquentes dans l'irrigation selon le goutte-à-goutte que dans l'irrigation par aspersion ou à la raie (Wu et Subbarao, 2003; Xie et al., 1999; Subbarao et al., 1997; Scherm et van Bruggen, 1995).

A côté de cet effet direct, l'irrigation au goutte à goutte est consommatrice de moins d'eau (20 litres pour la rigole et 8 litres par semaine pour le goutte à goutte. La nature des rigole font que cette technique d'irrigation favorise le développement des mauvaises herbes, qui constituent un réservoir pour plusieurs microorganisme (Sutton et al., 1997).

II. Perspectives : Adaptation de la lutte au développement épidémique

Au cours des recherches dans le cadre de cette thèse, nous avons apporté des éléments de réponse aux principales questions que nous avons posées dans la problématique. Mais certains aspects n'ont pas été élucidés et mériteraient d'être approfondis par des travaux complémentaires.

II. 1. Poursuite et amélioration du diagnostic phytosanitaire

La prospection que nous avons réalisée est loin d'être exhaustive, tant au niveau des productions, qu'à celui des périodes ; un suivi régulier permettrait de détecter l'apparition éventuelle et l'évolution de certaines maladies courantes, dans les pays du bassin méditerranéen, que nous n'avons pas rencontrées pendant les saisons 2003-2004 et 2004-2005, ou que nos moyens ne nous ont pas permis de déterminer. Concernant les principaux problèmes parasitaires observés, il serait intéressant de compléter les études de diagnostics en laboratoire :

- Par la caractérisation des types d'Oïdium et les races de *Cladosporium* présents dans notre pays.
- Par l'identification des maladies présentes sur les autres cultures légumières sous abris, leur connaissance permettra de faire le bon choix dans les rotations culturales.
- Par une caractérisation des profils de résistance aux fongicides des différentes souches fongiques, particulièrement aux molécules les plus utilisées dans la région.

II. 2. Amélioration des pratiques culturales

Une amélioration de la gestion des pratiques culturales, par un approfondissement de nos connaissances sur l'épidémiologie des principaux pathogènes recensés dans cette étude, nous permettra d'envisager des schémas de lutte rationnelle et souvent moins coûteux. A partir des observations sur le terrain et des résultats obtenus dans ce travail, on peut émettre les propositions suivantes :

- La généralisation de l'utilisation de l'irrigation au goutte à goutte, non seulement pour économiser l'eau mais aussi :
- comme méthode efficace dans la lutte contre *Botrytis cinerea*, agent de la pourriture grise de la tomate à travers la diminution de l'humidité relative dans les serres.

- comme moyen de limiter le développement des mauvaises herbes sans utiliser de pesticides
 - pour rationaliser les apports en engrais par l'utilisation de la fertirrigation (engrais apportés dans l'eau de l'irrigation).
- L'amélioration du système d'aération, par un travail de sensibilisation auprès des producteurs, en les incitant à pratiquer les ouvertures nocturnes des ouvrants, méthode efficace pour réguler l'humidité relative dans les tunnels.
- Introduction de la technique de solarisation :
- La technique de solarisation ou de désinfection solaire par bâchage plastique des sols a fait ses preuves dans plusieurs pays européens (Braun et al., 1987 ; Beringer et al., 1985). Elle est adaptable à la plasticulture en Algérie, dans la mesure où la saison sèche dure plus de trois mois.
 - Son utilisation peut être envisagée dans la lutte contre les maladies qui se conservent dans le sol à l'exemple de *Sclerotinia*.
 - Elle peut constituer une alternative à l'utilisation des produits chimiques pour la désinfection des sols, en particulier dans les régions côtières très sensibles aux infiltrations de ces produits, à l'origine d'une pollution marine.
- L'arrachage et l'incinération des plantes malades, des produits de la taille et des produits de l'effeuillage. Ces mesures d'hygiène sont décrites comme efficaces contre les maladies provoquées par des parasites de faiblesse.

II. 3. Pistes pour de futures recherches

De même, que des pistes pour la poursuite des recherches afin d'élucider certains aspects épidémiologiques peuvent être envisagées, particulièrement sur *Botrytis cinerea* :

- Recherche de l'inoculum primaire :
- Comment se conserve ce champignon entre deux saisons culturales? Produit-il des sclérotés ?

- D'où vient l'inoculum primaire dans les cultures sous serre ? de l'intérieur des serres ? des débris végétaux ? y'a-t-il un hôte intermédiaire ?
 - Y a-t-il un lien entre toutes les souches attaquant la tomate, dans les pays du pourtour méditerranéen? Y a-t-il une possibilité de transfert par le vent ?
 - Y a-t-il un lien entre le *Botrytis* attaquant la tomate et celui décrit sur la vigne et la salade? Une caractérisation génotypique des populations apporterait des réponses.
- L'orientation des tunnels (ouvrants orientés vers la mer / parallèles à la mer) dans une région côtière a-t-elle un impact sur la sévérité des attaques de *Botrytis* ? en fonction des vents dominants ? Les travaux effectués dans des laboratoires de bioclimatologie d'Avignon (Boulard et al. 2004) ont montré que le type d'ouverture et leurs dispositions des tunnels avait un impact direct sur le microclimat intérieur. Cette région est caractérisée par le vent dominant fort qui est le Mistral.
- Approfondir les études sur le microclimat des tunnels de la région côtière, apprécier l'influence des vents marins sur le développement épidémique de *Botrytis*, et peuvent-ils être responsables de l'introduction des premières contaminations ?

Conclusion Générale

Conclusion générale

Un diagnostic fiable doit être à la base de toutes les interventions phytosanitaires, si l'on veut garantir le rendement et la qualité des productions légumières. Dans le même sens, une incitation à l'introduction et à la généralisation de la technique d'irrigation au goutte à goutte permettrait de réduire l'incidence de certaines maladies et d'économiser l'eau, ressource de plus en plus rare.

Sur le terrain, le développement d'un travail d'aide au diagnostic, basé sur la vulgarisation à travers des brochures illustrant les principaux symptômes de maladies, serait d'un grand secours pour cultivateurs. L'insuffisance actuelle dans ce domaine, est fortement ressentie par la profession ; l'élaboration de documents accessibles (langue, illustration...) nous permettrait, lors des traitements, de limiter les accidents dont les conséquences sur la santé de l'homme et sur l'environnement ne seront visibles que tardivement.

Un tel travail est réalisable au niveau local, mais il exige un rapprochement entre la recherche et les secteurs demandeurs (un projet dans ce sens est en préparation au niveau du Laboratoire de Microbiologie Appliquée de l'Université A/Mira de Bejaia). Une partie de ce travail sera intégré dans la brochure d'aide au diagnostique et à la conduite à tenir face aux maladies.

Concrètement, la création de coopératives spécialisées dans le travail de vulgarisation et de diagnostic, en faisant appel à des techniciens et à des ingénieurs déjà formés et souvent sous-employés en Algérie, pourrait répondre à ce déficit en encadrement.

Ce type d'organisation contribuerait, entre autres, à rationaliser les interventions phytosanitaires et constituerait un cadre pour résoudre le problème délicat des prescriptions en matière de pesticides, qui est à l'origine des problèmes de pollution et d'apparition de souches résistantes.

Nous pouvons conclure cette contribution en considérant que le développement durable de l'agriculture passe par un diagnostic des maladies sur le terrain et une meilleure connaissance des pratiques culturales.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abreu P. E., Monteiro A. A., Meneses J. F. (1994) Response of unheated plastic covered greenhouse tomatoes during the cool season and under two different natural ventilation methods, *Acta Hort.* 366, 195- 200.
- Agrios G.N. (1988) *Plant Pathology*, 3^{ème} Edit. Academic Press ed. 803 p.
- Aissat K. (2000) Diseases of the major vegetable crops under greenhouses in the Bejaia region (Algeria), international conference of plant protection, Tours Dec. 2000, 349-354 p.
- Alderman W.C., Lacy M.I., Everts K.L. (1985) Influence of interruption of dew period on numbers of lesions produced on onion by *Botrytis squamosa* *Phytopathology*, 75, 808-811.
- Allen S. J., Hodgson A.S., Constable G.A. (1992) The effects of various agronomic practices on the incidence of bacterial blight of cotton, *Plant Prot.* 7, 55-58.
- Anonyme (2006) *Statistique nationale de la plasticulture*, DSA Béjaïa 10p.
- Ashcroft W.J., Bieche B., Branthome X., Qassim A., Aleemullah M., Hickey M.J., Hulme J., Hoogers R. (2003) Irrigation best management practices- The Australian experience, *Acta Hort.* 613, 147- 150.
- Bardin M., Fargues J., Couston L., Troulet C., Philippe G., Nicot P.C. (2004) Lutte biologique combinée contre 3 bioagresseurs de la tomate, *PHM-Revue Horticole* 461, 36-39.
- Barkai-Golan R., Padova R. Ross I., Lapidot M., Davidson H., Copel A. (1993) Combined hot water and radiation treatments to control decay of tomato fruits *Scientia Horticulturae*, Volume 56, 101-105
- Barnett H.L., Hunter B.B. (1998) *Illustrated genera of imperfect fungi*, fourth edition, APS press, Minnesota, USA, 218 p.
- Barroso M. R., Meneses J.F., Mexia J.T. (1999) Effect of greenhouse type and restricted ventilation climate, tomato yield and *Botrytis cinerea* control, *Acta Hort.* 486, 125-130.
- Beever R. E., Weeds P. L. , Sharrock K. R., Long P. G. (1999) A major gene controlling pathogenicity in *Botryotinia fuckeliana* (*Botrytis cinerea*) *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 54, 13-35
- Benhamou F. (1990) Les films plastiques pour la couverture des abris-serres et le paillage du sol en Algérie, 2^{ème} Séminaire international de la plasticulture du 12 au 16 Fev. 1990, Alger, 11 p.

- Besri M. (1981) Influence de la salinité du sol et des eaux d'irrigation sur la population de *Fusarium oxysporum* fsp. *Lycopersici* (sacc.) Synder et Hansen, *Phytopathology mediterranean*, 20, 101-106.
- Blakeman J.P. (1980) Behaviour of conidia on aerial plant surfaces in: Coley-Smith J.R., Verhoeff K., Jarvis W.R. *The biology of Botrytis*, Academic Press, London, 1980, 115-151.
- Blakeman J.P. (1993) Pathogens in the foliar environment, *Plant Pathology*, 42, 479-493.
- Blancard D. (1988) *Maladies de la tomate : observer, identifier, lutter*. INRA-PHM-Revue horticole Ed., 211p.
- Boulard T., Baille A., Mermier M., Villette F. (1991) Mesures et modélisation de la résistance stomatique foliaire et de la transpiration d'un couvert de tomates de serre, *Agronomie* 11, 259-274.
- Boulard T., Fatnassi H., Roy J.C., Lagier J., Fargues J., Smits N., Rougier M., Jeannequin B. (2004) Effect of greenhouse ventilation on humidity of inside air and in leaf boundary-layer, *Agric. and Forest Meteo.* 125, 225-239.
- Boulard T., Feuilloley P., Kittas C. (1997) Natural ventilation performances of six greenhouse and tunnel type, *J. Agric. Eng. Res.* 67, 249-266.
- Boulard T., Wang S., Haxaire R., Papadakis G., Mermier M. (1999) Air flow, temperature and humidity patterns in a greenhouse tunnel, *Acta Hort.* 507, 51-59.
- Bulger M.A., Ellis M.A., Madden L.V. (1987) Influence of temperature and witness duration on infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* and disease incidence of fruit originating from infected flowers, *Phytopathology*, 77, 1225-1230.
- Cafè-Filho A.C., Duniway J.M., Davis R.M. (1995) Effects of the frequency of furrow irrigation on root and fruit rots of squash caused by *Phytophthora capsici*, *Plant Dis.* 79, 44- 48.
- Coley-Smith J.R., Verhoeff K., Jarvis W.R. (1980) *The biology of Botrytis*, Academic Press, London, 281 p.
- Decognet V., Bardin M., Nicot PC, (2005) Dynamique spatio-temporelle d'une épidémie de *Botrytis* sur tomate sous serre : importance pour la protection intégrée, *PHM-Revue horticole*, 461, 28-31.
- Dugan F.M. (2006) *The identification of fungi: an illustrated introduction with Keys, glossary, and guide to literature* , APS press, Minnesota, USA, 176 p.

- Eden M.A., Hill R.A., Beresford R., Stewart A. (1996) The influence of inoculum concentration, relative humidity, and temperature on infection of greenhouse tomatoes by *Botrytis cinerea*.
- Eden A, Hill A., Stewart A. (1996) biological control of *Botrytis* stem infection of greenhouse tomatoes, *Plant Pathology*, 45, 276-284.
- Elad Y. (1989) Effect of abiotic conditions on development of grey mould of rose and scanning electron microscopy, *Phytopathologia Mediterranea*, 28, 122-130.
- Elad Y., Gullino M.L., Shtienberg D. (1995) Management *Botrytis cinerea* on tomatoes in greenhouses in the Mediterranean, *Crop protection* 14, 105-109.
- Elad Y., Shtienberg D. (1995) *Botrytis cinerea* in greenhouse vegetables: Chemical, cultural, physiological and biological controls and their integration, *Integrated Pest Management Reviews* 1, 15-29.
- Elad Y. (1996) Mechanisms involved in the biological control of *Botrytis cinerea* incited diseases., *European Journal of Plant Pathology*, 102, 88-95.
- Elmer et Kohl, 1998 ; The survival and saprophytic competitive ability of the *Botrytis* spp. antagonist *Ulocladium atrum* in lily canopies, *European Journal of Plant Pathology* 104, 435-447
- Falconi C. J., Mendgen, K. (1994) Epiphytic fungi on apple leaves and their value for control of the postharvest pathogens *Botrytis cinerea*, *Monilinia fructigena* and *Penicillium expansum*., *Z. Pflanzenkr. Pflanzenschutz*, 10, 38-47.
- Flowers T.J., Ragab R., Malash N., Abdel Gawad G., Cuartero J., Arslan A. (2005) Sustainable strategies in salt-prone Mediterranean: SALMED, *Agric. Water Manage.* 78, 3-14.
- Fokkema N. J., (1993) Opportunities and problems of control of foliar pathogens with micro-organisms. *Pestic. Sci.*, 37, 411-416.
- Forster B., Staub T. (1996) Basis for use strategies of anilinopyrimidine and phenylpyrrole fungicides against *Botrytis cinerea*, *Crop Protection*, 15, 529-537
- Gullino M.L. (1992) Chemical control of *Botrytis* spp. In: *Recent advances in Botrytis Research*, Pudoc scientific publishers, Wageningen, The Netherlands, 217-222 p.
- Hanson B.R. and May M.D. (2006) Crop evapotranspiration of processing tomato in the San Joaquin Valley of California, USA, *Irrig. Sci* 24, 211-221.
- Hebbar S.S., Ramachandrapa B.K., Nanjappa H.V., Prabhakar M. (2004) Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Europ. J. Agronomy* 21, 117-127.

- Hjeljord, Linda Gordon (2001) Antagonism of Nutrient-Activated Conidia of *Trichoderma harzianum* (atroviride) P1 Against *Botrytis cinerea*., *Phytopathology*, 91, 121-132.
- Holz G., Coertze S., Williamson B. (2004) the ecology of *Botrytis* on plant surfaces, in: Elad Y., Tudzynski P., Delen N., *Botrytis: Biology, Pathology and Control* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp.9-27.
- Jarvis W.R. (1992) *Managing diseases in greenhouse crops*, APS Press, St Paul, Minnesota, USA, 288 p.
- Jewett T.J., Jarvis W.R. (2001) Management of the greenhouse microclimate in relation to disease control: a review, *Agromomie*, 21, 351-366.
- Jones J.B., Jones J.P. (1991) *Compendium of tomato disease*, APS press, Minnesota, USA, 257p.
- Jones H, Whipps JM and Gurr SJ, 2001. The tomato powdery mildew fungus *Oidium neolycopersici*. *Molecular Plant Pathology*, 2, 303-309
- Kerssies A. (1993) Influence of environmental conditions on dispersal of *Botrytis cinerea* conidia and on post-harvest infection of gerbera flowers grown under glass *Plant Pathology* 42, 754-762.
- Kiss L, Cook RTA, Saenz G, Cunnington JH, Takamatsu S, Pascoe I, Bardin M, Nicot PC, Sato Y, Rossman AY, 2001. Identification of two powdery mildew fungi, *Oidium neolycopersici* sp. nov. and *O. lycopersici*, infecting tomato in different parts of the world. *Mycological Research*, 105, 684-697.
- Laterrot H. (1990) Situation de la lutte génétique les contre les parasites de la tomate dans les pays Méditerranéens, *PHM-Revue horticole*, 33, 53-56.
- Leifert C., Sigee DC., Epton H.A.S. (1992) The effect of plant resistance and bacterial antagonists on the control of *Botrytis cinerea* on cold stored Dutch white cabbage. In: *Recent Advances in Botrytis research*. Eds. K. Verhoeff, N.E. Malathrakis & B. Williamson. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, pp. 201-206.
- Leroux P., Clerjeau, M. (1985) Resistance of *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola* sp. To fungicides in French vineyards, *Crop Protection*, 4, 137-160
- Leroux P., Fournier E., Brygoo Y., Panon M.L. (2002) Biodiversité et variabilité chez *Botrytis cinerea*, agent de la pourriture grise, *Phytoma*, 554, 38-42
- Locascio S. J. (2005) Management of irrigation for vegetables: past, present, and future, *HorTechnology* 15, 482-485.
- Madden L. V., Hughes G., van den Bosch F. (2007) *The study of plant disease epidemics*, APS press, Minnesota, USA.

- Margery L., Daughtrey, D. Michael Benson (2005) principles of plant health management for ornamental plants, Annual Review of Phytopathology 43, 141-169
- Meneses J. F., Monteiro A. A., Abreu P. E. (1994) Influence of two different natural ventilation methods on greenhouse climate, tomato production and *Botrytis* control, Plasticulture 101, 3-12.
- Messiaen C.M., Blancard D., Rouxel F., Lafon R. (1991) Les maladies des plantes maraîchères, INRA 3^{ème} édition, Paris, France, 552 p.
- Miyamoto S., Piela K, Petticrew J. (1986) Seedling mortality of several crops induced by root, stem or leaf exposure to salts, Irrig Sci 2, 97-102.
- Morgan W.M., (1984) The effect of night temperature and glasshouse ventilation on the incidence of *Botrytis cinerea* in a late-planted tomato crop, Crop Protection, 3, 243-251
- Morgan W.M., (1985) Influence of energy-saving night temperature regimes on *Botrytis cinerea* in an early-season glasshouse tomato crop, Crop Protection, 4, 99-110
- Nicot P.C., Alex D. (1991) Grey mould of greenhouse grown tomatoes:disease control by climate management? WPRS Bulletin, 14, 200-210.
- Nicot P.C., Baille A., (1996) Integrated control of *Botrytis cinerea* on greenhouse tomatoes. In Aerial plant surface microbiology. Edited by C.E. Morris, P.C. Nicot, and C. Nguyen-The. The Plenum Press, New York. pp. 169–189.
- Nicot P.C., Decognet V., Fruit L., Bardin M., Trotin Y. (2002) Combined effect of microclimate and dose of application on the efficacy of biocontrol agents for the protection of pruning wounds on tomatoes against *Botrytis cinerea*. 7. IOBC Working Group Meeting, 25, 73-76.
- Nicot P.C., Mermier M., Vaissière B.E., Lagier J. (1996) Differential spore production by *Botrytis cinerea* on agar medium and plant tissue under near ultraviolet light-absorbing polyethylene film, Plant disease, 80,555-558.
- Nicot P.C., (2008) protection intégrée des cultures maraîchères sous serre :expérience et atouts pour un contexte en évolution, Cahiers Agricultures,17, 45-49.
- Nischwitz C., Olsen M., Rasmussen S. (2004) Effect of irrigation type on inoculum density of *Macrophomina phaseolina* in Melon fields in Arizona, J. Phytopathology 152, 133-137.
- O'Neill T.M., Shtienberg D., Elad Y. (1997) Effect of some host and microclimate factors on infection of tomato stems by *Botrytis cinerea*, Plant Dis. 81, 36-40.
- Pappas A. C., (1997) Evolution of fungicide resistance in *Botrytis cinerea* in protected crops in Greece Crop Protection, 16, 257-263

- Ristaino J. B., Duniway J. M., Marois J. J. (1988) Influence of frequency and duration of furrow irrigation on the development of *Phytophthora* root rot and yield in processing tomatoes, *Phytopathology* 78, 1701-1706.
- Rotem J., and Palti J. (1969) Irrigation and plant diseases, *Annu. Rev. Phytopathol.* 7, 267-288.
- Rotem J., Palti J., Lomas J. (1970) Effects of sprinkler irrigation at various times of the day on development of potato late blight, *Phytopathology* 60, 839-843.
- Scherm H., van Bruggen A.H.C. (1995) Comparative study of microclimate and Downy mildew development in subsurface drip-and furrow- irrigated lettuce fields in California, *Plant Dis.* 79, 620-625
- Shtienberg D., Elad Y., Niv A., Nitzani Y., Kirshner B. (1998) Significance of leaf infection by *Botrytis cinerea* in stem rotting of tomatoes grown in non-heated greenhouses, *European. J. Plant Pathology* 104, 753-763
- Shtienberg, D. (1997) Incorporation of Weather Forecasting in Integrated, Biological-Chemical Management of *Botrytis cinerea*., *Phytopathology* 87, 301-309.
- Sigandhupe R.B., Rao G.G.S.N., Patil N.G., Brahmanand P.S. (2003) Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Europ. J. Agronomy* 19, 327-340.
- Sosa-Alvarez M., Madden L.V., Ellis M.A. (1995) Effects of temperature and wetness duration on sporulation of *Botrytis cinerea* on strawberry leaf residues, *Plant Disease*, 79, 609-615.
- Subbarao K.V., Hubbard J.C., Schulbach K.F. (1997) Comparison of lettuce diseases and yield under subsurface drip and furrow irrigation, *Phytopathology* 87, 877-883.
- Sutton J.C., Li D.-W., Peng G., Yu H., Zhang P., Valdebenito-Sanhueza R.M. (1997) *Gliocladium roseum*, a versatile adversary of *Botrytis cinerea* in crops. *Plant Dis.*, 81, 316-329.
- Sutton K. F., Thomas L. W., Mitchell J. P., Miyao E. M., Shrestha A. (2006) Weed control, yield, and quality of processing tomato production under different irrigation, tillage, and herbicide systems. *Weed Technology* 20, 831-838.
- Tan K.K. (1975a) Interaction of near-ultraviolet, blue, red and infra-red light in sporulation of *Botrytis cinerea*. *Trans. Br.Mycol.Soc.*, 64,215-222.
- Tan K.K. (1975b) Recovery from the blue-light inhibition of sporulation in *Botrytis cinerea*. *Trans. Br.Mycol.Soc.*, 64,223-228.
- Thomas C.S., Marois J.J., English T.T. (1988) The effects of wind speed, temperature and relative humidity on development of mycelium and conidia of *Botrytis cinerea* on grape, *Phytopathology* 78, 260-265.

- Tian S.P., Bertolini P. (1995) Effects of low temperature on mycelia growth and spore germination of *Botrytis allii* in culture and its pathogenicity to stored garlic bulbs, *Plant Pathology*, 44, 662-668.
- Tiwari K.N., Singh A., Mal P.K. (2003) Effect of drip irrigation on yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) under mulch and no mulch conditions, *Agric. Water Manage.* 58, 19-28.
- Verhoeff K. (1967) Studies on *Botrytis* in tomatoes. Influence of methods of deleafing on the occurrence of stem lesion, *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 73, 117-120.
- Vincelli P.C., Lorbeer J.W. (1988) Forecasting spore episodes of *Botrytis squamosa* in commercial onion fields in New York, *Phytopathology*, 78, 966-970.
- Vincelli P.C., Lorbeer J.W. (1988) Relationship of precipitation probability to infection potential of *Botrytis squamosa* on onion, *Phytopathology* 78, 1078-1082.
- Walter M., Boyd-Wilson KSH, Perry J.H., Elmer PAG, Frampton C.M. (1999) Survival of *Botrytis cinerea* conidia on kiwifruit, *Plant Pathology*, 48, 823-829.
- Wang S., Boulard T. (2000) measurement and prediction of solar radiation distribution in full-scale greenhouse tunnels, *Agronomie* 20, 41-50.
- Washington W. S., Shanmuganathan N., Forbes C. (1992) Fungicide control of strawberry fruit rots, and the field occurrence of resistance of *Botrytis cinerea* to iprodione, benomyl and dichlofluanid, *Crop Protection*, Volume 11, 355-360 p. Bailie, 1991
- Wu B.M., Subbarao K.V. (2003) Effects of irrigation and tillage on temporal and spatial dynamics of *Sclerotinia minor* sclerotia and lettuce drop incidence, *Phytopathology* 93, 1572-1580.
- Xiao C.L., Subbarao K.V., Schulbach K.F, Koike S.T. (1998) Effects of crop rotation and irrigation on *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil and wilt in cauliflower, *Phytopathology* 10, 1046-1055.
- Xie J., Cardena E.S., Sammis TW, Wall MM, Lindsey D.L., Murray L.W. (1999) Effects of irrigation method on chile pepper yield and *Phytophthora* root rot incidence, *Agric. Water Manage.* 42, 127-142.
- Xi-Peng D., Lun S., Heping Z., Turner Neil C. (2006) Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China, *Agric. Water Manage.* 80, 23-40.
- Yohannes F., Tadesse T. (1998) Effect of drip and furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at Dire Dawa, Ethiopia, *Agric. Water Manage.* 35, 201-207.
- Yunis H., Elad Y., (1993) Effect of microclimate and nutrients on development of cucumber gray mould (*Botrytis cinerea*), *Phytoparasitica*, 21

Annexes

Paramètres de l'enquête (Questionnaire)

- Emplacement de l'exploitation
- Type de propriété (privé, EAC, ...)
- Variété cultivée
- Orientation des tunnels
- Système de semis
- Irrigation :
 - Goutte à goutte ou rigole
 - Fréquence de l'irrigation
 - Quantité d'eau
- Amendements (intrants minéraux et organiques)
 - Engrais utilisés
 - Quantités
 - Période des apports
- Précédent cultural
 - de 1999 à 2003
- Pathologies observées par le passé
- Traitements utilisés
- Observations particulières
- Type de sol
- ...