

**Ministère
de l'Agriculture,
des Pêcheries
et de l'Alimentation**

Québec 

SYSTÈME RACINAIRE DE LA TOMATE DE SERRE, CHAMPIGNONS PHYTOPATHOGENES ET ENVIRONNEMENT

**Michel Lacroix, agronome-phytopathologiste
Laboratoire de diagnostic en phytoprotection
Direction de l'innovation scientifique et technologique**

20 JANVIER 1998

INTRODUCTION

Afin d'assurer une excellente production en fruits, les plants de tomate de serre doivent pouvoir compter sur un système racinaire de qualité. Le développement et la qualité du système racinaire demeurent en étroite relation avec le milieu dans lequel la croissance des racines s'effectue. L'interaction de trois composantes détermine la qualité du système racinaire soit **l'espèce végétale**, les **facteurs abiotiques** (facteurs climatiques et pratiques culturales) et les **organismes du milieu de culture**. Diverses caractéristiques de ces composantes influencent d'une façon avantageuse ou désavantageuse la qualité des racines. La figure 1 regroupe les principaux éléments pouvant intervenir lors du développement du système racinaire.

L'objectif du présent document vise à présenter quelques exemples démontrant l'impact de certains facteurs sur la qualité et le développement des racines ainsi que de l'influence de ces mêmes facteurs sur les champignons pathogènes pouvant infecter le système racinaire de la tomate de serre.

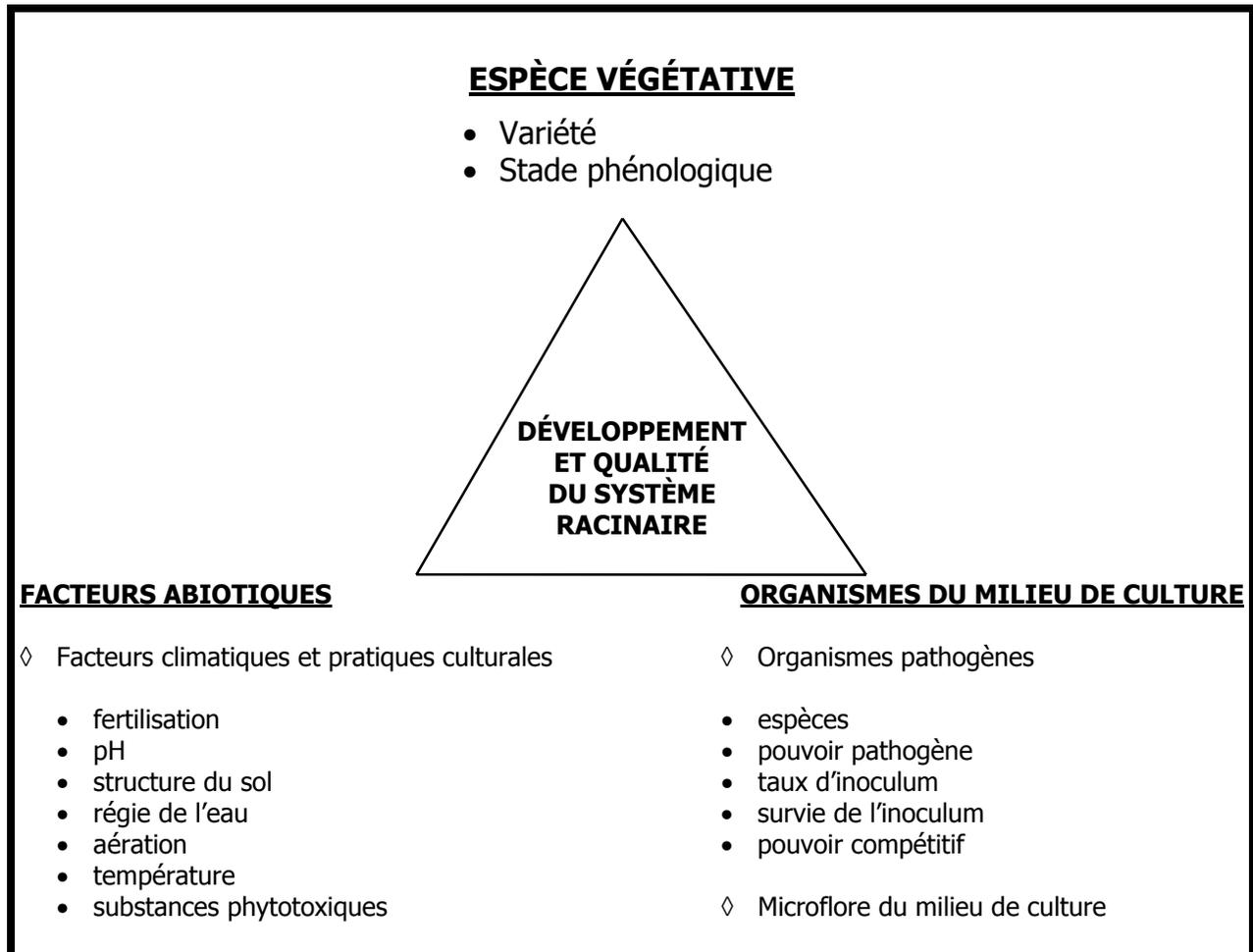


FIGURE 1 : Principaux facteurs influençant le développement et la qualité du système racinaire.

1. DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME RACINAIRE

Cette section du document ne traite pas spécifiquement du développement du système racinaire de la tomate de serre. Les informations indiquées ont pour but d'examiner d'une façon générale l'impact de certains facteurs sur la croissance racinaire des plantes. Le contenu de cette partie ainsi que les tableaux sont grandement inspirés de la référence suivante : Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 674 pp.

• FERTILISATION

La distribution des racines dans un sol peut être modifiée en fonction de l'emplacement des éléments minéraux. Ainsi, en ce qui concerne l'azote, une augmentation de la densité racinaire est observée dans la zone où la concentration en nitrate est la plus élevée.

Un effet similaire à l'azote est noté avec des applications localisées de phosphore. Ainsi, la longueur totale des racines latérales et le poids racinaire sont supérieurs dans la zone d'application de cet élément minéral (tableau 1).

TABLEAU 1 - Effet de l'application localisée du phosphore sur la longueur totale des racines latérales et sur le poids sec racinaire.

Zone racinaire^a	Longueur totale des racines latérales (cm)	Poids sec (mg)
A (basale)	14,3	3,5
B (médiane)	332,0	37,8
C (supérieure)	11,1	4,9

a : L'application du phosphore a été faite dans la zone médiane.

Il est important de remarquer que la fertilisation localisée engendre, dans la zone d'application, une augmentation de la densité racinaire reliée à un développement beaucoup plus abondant des racines latérales mais non à un allongement des axes racinaires principaux.

C'est dans le cas d'une carence minérale, qu'une augmentation de l'allongement de l'axe racinaire principal mais un retard de la formation des racines latérales sont observées. Ainsi, lors de carences en azote et en phosphore (tableau 2) une augmentation du ratio racines/tige est observée étant donné que l'expansion du système racinaire se fait au détriment du développement de la partie aérienne. Cette augmentation de l'allongement des racines est une adaptation visant une meilleure exploration du sol en quête d'éléments minéraux. Notez que

dans les situations de carences minérales, les racines ont un diamètre plus petit ce qui implique la présence de racines plus fines.

TABLEAU 2 : Effet d'une carence en phosphore sur la croissance de la tige et des racines.

Jours sans phosphore	Poids sec de la tige (g/pot)	Longueur des racines (m/pot)	Poids sec des racines (m/pot)
1	2,10	4,64	0,27
2	2,34	5,77	0,31
4	1,93	7,57	0,40
6	1,65	9,08	0,43

En présence d'une carence minérale, un second mécanisme d'adaptation visant à augmenter la surface du système racinaire, pour favoriser une meilleure absorption, consiste en la formation et en l'élongation accrues des poils absorbants.

Outre la quantité de fertilisants, la forme d'azote peut également modifier l'apparence du système racinaire. Ainsi, en comparant les fertilisations azotées soit sous forme nitrate et ammonium, il est observé que l'ammonium engendre une réduction de l'élongation racinaire, induit le développement de racines courtes et épaisses et favorise la formation de racines latérales.

- **pH**

Le pH du sol influence le développement des racines. Un pH acide est un facteur restreignant la progression des racines dans le sol. En sol minéral acide, la toxicité en aluminium peut être un facteur qui limite la croissance racinaire. Les signes d'une telle toxicité se traduisent par des racines fortement trapues étant donné une inhibition sévère de l'allongement de l'axe racinaire principal et des racines latérales.

En présence d'un pH élevé, une conséquence connue est une toxicité liée à l'ammoniac laquelle se traduit par une inhibition du développement racinaire.

- **AÉRATION**

Le manque d'aération dans le sol restreint la croissance des racines. L'effet d'une diminution d'oxygène dans un sol peut être démontré en saturant d'eau un sol normalement bien aéré. Sous de telles conditions asphyxiantes, la croissance racinaire est immédiatement inhibée et la détérioration des racines existantes est notée en quelques jours.

Il a également été démontré que dans les conditions de culture en hydroponie, un manque d'oxygène dans la solution nutritive diminue le développement des racines.

- **COMPOSÉS PHYTOTOXIQUES**

Le développement des racines peut être affecté par la fraction soluble de la matière organique d'un sol. Ainsi, sous des conditions de sol caractérisées par un manque d'oxygénation et une saturation en eau, certains composés comme des acides phénoliques et des acides gras à courtes chaînes peuvent s'accumuler lors de la décomposition de composantes organiques (ex : paille, engrais vert). L'accumulation de tels composés aura un effet négatif sur la croissance des racines. Les effets inhibiteurs, de la décomposition de certaines matières organiques (ex : paille d'avoine), sur la croissance des racines ne sont pas causées seulement par une concentration élevée des composés phytotoxiques puisqu'il y a une interaction avec le pH du milieu.

- **BLESSURES MÉCANIQUES**

Dans un sol compact le nombre de pores suffisamment larges pour permettre la progression des racines se voit grandement réduit. Afin d'assurer leur expansion dans ce type de sol, les racines doivent déplacer des particules de sol ce qui devient un facteur grandement limitant à leur croissance.

Les blessures mécaniques pouvant se reproduire en sol compact se traduiront par une inhibition de l'allongement de l'axe racinaire principal et un développement accru des racines latérales. Cette modification de la morphologie ne diminue pas nécessairement la surface racinaire. Alors il est possible que l'absorption de l'eau et des éléments minéraux ne soit pas affectée dans la mesure où ceux-ci sont présents en quantité suffisante dans la zone racinaire restreinte.

- **RÉGIE DE L'EAU**

Le développement du système racinaire dans le sol est en étroite relation avec le contenu en eau. Dans les sols secs la diminution de l'expansion du système racinaire est associée à une augmentation des blessures mécaniques, à une perte de contact entre les particules de sol et les racines ainsi qu'à une diminution du potentiel hydrique du sol. Dans les conditions de sol saturé en eau, les effets délétères sur le système racinaire sont associés à une diminution de l'aération du sol et à une accumulation de composés phytotoxiques.

- **TEMPÉRATURE**

D'une façon générale, la température optimale pour le développement racinaire se situe entre 20 et 25°C.

Comme nous pouvons le constater, le développement du système racinaire est grandement influencé par un ensemble de facteurs abiotiques (facteurs climatiques et pratiques culturales). Un système racinaire bien développé ayant un renouvellement continu de racines (proportion élevée de jeunes racines) favorise une absorption adéquate de l'eau et des éléments minéraux ce qui est particulièrement bénéfique dans les sols pauvres. Dans les situations où les apports en eau et en fertilisants sont réguliers, seulement 10 à 20% du système racinaire peuvent être requis pour la croissance de la plante.

Outre les facteurs abiotiques, le système racinaire peut être confronté à la présence d'organismes pathogènes dans le milieu de culture lesquels peuvent influencer sur l'expansion des racines ainsi que sur leur apparence. Cependant, ces organismes pathogènes sont également

sous la dépendance des mêmes facteurs abiotiques gérant le développement des racines. Il s'établit donc une interaction impliquant la plante hôte, les organismes pathogènes et les facteurs abiotiques.

Ayant discuté des composantes influençant la croissance racinaire, nous examinerons quel est l'impact de ces facteurs sur les champignons pathogènes pouvant affecter le système racinaire de la tomate de serre.

2. CHAMPIGNONS PATHOGÈNES DU SYSTÈME RACINAIRE

Les maladies fongiques pouvant affecter le système racinaire de la tomate de serre sont les suivantes :

- Fonte des semis (*Pythium, Rhizoctonia, Phytophthora*) ;
- Pourridié fusarien (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*) ;
- Flétrissement fusarien (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) ;
- Racine liéeuse (*Pyrenochaeta lycopersici*) ;
- Pourridié pythien (*Pythium* spp.) ;
- Rhizoctonie (*Rhizoctonia solani*) ;
- Dartrose (*Colletotrichum coccodes*) ;
- Pourridié phytophthoréen (*Phytophthora* spp.) ;
- Pourriture racinaire due à *Humicola* ;

Outre les champignons pathogènes, il ne faut pas négliger certains facteurs non parasitaires pouvant engendrer une détérioration des racines. Parmi ces causes, indiquons un excès d'eau, une salinité élevée, un pH acide et un manque d'oxygène dans le milieu de culture.

A. SYMPTÔMES

En ce qui concerne les symptômes induits par chacun des champignons phytopathogènes cités précédemment, je vous réfère au feuillet no P-4 de l'Atlas des maladies intitulé « Flétrissement et dépérissement de la tomate de serre » produit par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

B. DÉVELOPPEMENT DES MALADIES DU SYSTÈME RACINAIRE

Les symptômes induits par les différents champignons pouvant infecter les racines de la tomate sont des plus utiles pour distinguer les maladies fongiques les unes des autres. Cependant, il est encore plus important de connaître les facteurs jouant un rôle déterminant dans l'infection du système racinaire par un champignon et dans le développement de la maladie. La connaissance de ces facteurs permet d'intervenir pour minimiser les risques d'infection ou diminuer la progression de la maladie. C'est l'interaction entre la plante hôte, l'organisme pathogène et les facteurs abiotiques qui détermine s'il y aura développement ou non de la maladie.

Dans cette partie, nous examinerons dans un premier temps les composantes propres aux organismes pathogènes ayant un impact sur l'infection et le développement des maladies racinaires. Par la suite, nous traiterons de l'influence des facteurs abiotiques sur le comportement des organismes pathogènes.

- **FACTEURS INTRINSÈQUES AUX CHAMPIGNONS PATHOGÈNES**

- a) ESPÈCES ET POUVOIR PATHOGÈNE

Dans les racines de la tomate de serre, diverses espèces de *Pythium* furent isolées (Blancard et al., 1992 ; Raffin et Tirilly, 1995). Les espèces isolées ne se sont pas toutes avérées pathogènes chez la tomate. Le *Pythium ultimum* var. *ultimum* est une des principales espèces reconnues pathogènes chez la tomate. Par ailleurs, d'autres espèces comme *Pythium diclinum* et *Pythium echinulatum* furent isolées des racines mais elles ne sont pas pathogènes. Même à l'intérieur d'un groupe de *Pythium*, connu sous le nom de *Pythium F*, une variation du pouvoir pathogène est notée.

De par ces données, nous pouvons constater que la connaissance des champignons présents dans le milieu de culture ainsi que leur pouvoir pathogène peut fournir certains indices sur le développement éventuel d'une maladie.

Dans le cas des *Pythium*, il est important de signaler que ce champignon est principalement reconnu pour causer la fonte des semis. Cependant, avec la culture en hydroponie, des conditions très favorables à la croissance du *Pythium* prennent place. C'est ainsi que les problèmes de pourriture racinaire causée par *Pythium*, chez la tomate de serre, se rencontrent principalement en culture hydroponique.

- b) TAUX D'INOCULUM

Dans le cas de la racine liégeuse (*Pyrenochaeta lycopersici*), il a été démontré que la sévérité de la maladie est en corrélation avec le niveau d'inoculum. Il en est de même pour le pourridié fusarien (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*) où le développement de la maladie est moindre avec une diminution de la concentration de spores (Jones, Woltz et Scott, 1990).

Dans le cas des *Pythium*, la population peut atteindre 10^5 propagules par gramme de racines sans qu'aucun symptôme soit apparent sur les racines (Raffin et Tirilly, 1995). Ainsi, dans certaines situations outre le taux d'inoculum d'autres facteurs tels que l'espèce, comme nous l'avons indiqué précédemment, influencent le développement de la maladie.

Cependant, d'une façon générale le maintien d'un faible taux d'inoculum dans le milieu demeure un gage limitant les probabilités de développement de la maladie.

- c) SURVIE DE L'INOCULUM

Il est important de connaître le temps de survie d'un organisme pathogène dans les résidus de culture. Dans le cas du *Pyrenochaeta lycopersici*, le champignon a pu survivre dans des racines de tomate enfouies depuis 33 mois (Shiskoff et Campbell, 1990).

d) COMPÉTITIVITÉ

Il est possible qu'un milieu de culture soit colonisé par différents champignons pathogènes. C'est le degré de compétitivité de chaque espèce fongique qui sera un élément déterminant dans sa capacité à infecter les racines et à s'y développer. Selon une étude de Davet (1976a), les principaux champignons pathogènes des racines de tomate peuvent être classés selon leur potentiel compétitif de la façon suivante :

	Quel que soit la température	Sauf à haute température (28°C)
Très compétitif Moyennement compétitif Très peu compétitif	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	<i>Colletotrichum coccodes</i>

En se basant sur les données indiquées précédemment, les conclusions suivantes peuvent être indiquées pour certains champignons parasites des racines de tomate :

- *Pyrenochaeta lycopersici*

Ce champignon possède aucune ou seulement une très faible activité compétitive et saprophyte. Il semble qu'il soit incapable de se développer dans le sol ou de croître activement dans les débris de culture suite à la mort de la plante hôte. Cependant, cet organisme a la possibilité de survivre dans les résidus de culture pendant une longue période ce qui peut lui être favorable. Ainsi, un taux d'inoculum élevé, suite à des cultures successives de tomate, apparaît une composante primordiale pour que la maladie se manifeste dans un sol non stérilisé, c'est-à-dire dans un sol où il y a présence de compétition (Davet, 1976a ; Shishkaff et Campbell, 1990).

- *Colletotrichum coccodes*

Ce champignon possède une certaine aptitude à la compétition comparativement au *Pyrenochaeta*. Ainsi, le *Colletotrichum* peut infecter des racines de tomate même en présence de champignons antagonistes dans la mesure où son taux d'inoculum est élevé (Davet 1976a, 1976b).

- *Rhizoctonia solani*

Le *Rhizoctonia* est très peu inhibé par les autres champignons pouvant infecter les racines de tomate. En contre partie, le *Rhizoctonia* a peu d'effet inhibiteur sur les autres champignons pathogènes de la tomate (Davet, 1976b).

- *Fusarium oxysporum*

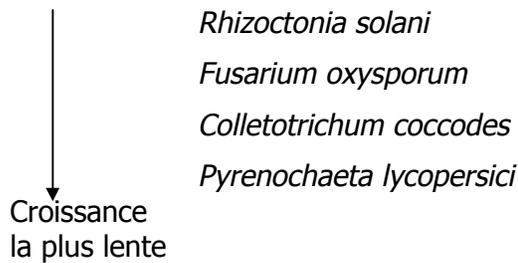
Ce champignon possède un potentiel compétitif très élevé. Ses effets antagonistes envers le *Colletotrichum coccodes* et le *Pyrenochaeta lycopersici* sont évidents (Davet, 1976b).

Pour terminer cette partie, je citerai textuellement la conclusion d'une étude de Davet (1976c). Je considère que les éléments énoncés dans cette conclusion illustre bien comment peuvent entrer en interaction certains champignons pathogènes du système racinaire de la tomate. La conclusion de Davet est la suivante : « Au début des cultures, la température du sol est encore basse légèrement inférieure à 20°C. La colonisation des racines est lente. Le *Rhizoctonia solani* est rare et peu compétitif, le *Fusarium oxysporum* n'occupe que quelques sites. Aussi le *Pyrenochaeta lycopersici* et le *Colletotrichum coccodes* peuvent-ils trouver sans difficulté des sites libres où leur pénétration n'est point gênée. Au fur et à mesure que le sol se réchauffe, la colonisation de la surface des racines par le *Fusarium oxysporum*, puis par le *Rhizoctonia solani* devient plus importante. Les nouveaux points de pénétration du *Pyrenochaeta lycopersici* se font de plus en plus rares. Le *Colletotrichum coccodes*, plus compétitif, est moins gêné. Le *Fusarium oxysporum* envahit les lésions, accompagné par le *Rhizoctonia solani*, et des pourritures secondaires apparaissent. »

- **FACTEURS ABIOTIQUES VERSUS CHAMPIGNONS PATHOGÈNES**

- a) TEMPÉRATURE

Nonobstant la température, les champignons pathogènes du système racinaire de la tomate peuvent être classés en fonction de leur vitesse de croissance selon l'ordre suivant (Davet, 1976a) :



Il est certain que la température a une influence sur le développement de la maladie. L'exemple suivant démontre bien que la racine liégeuse (*Pyrenochaeta lycopersici*) est davantage sévère lorsque la température du sol est basse (tableau 3)

TABLEAU 3 : Développement de la racine liégeuse en fonction de la température.

Température du sol (C°)	Sévérité de la maladie
13,4	4,0
16,1	3,4
20,6	1,6
24,3	0,5

Campbell, Schweers et Hall, 1982.

D'une façon générale, les températures optimales pour les maladies fongiques du système racinaire sont les suivantes :

<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	14 à 20°C
<i>Colletotrichum coccodes</i>	20 à 24°C
<i>Fusarium oxysporum</i>	15 à 22°C
<i>Rhizoctonia solani</i>	15 à 26°C
<i>Phytophthora</i> sp.	15 à 26°C

b) HUMIDITÉ DU SOL

Habituellement, une teneur élevée en eau dans le milieu de culture prédispose les racines aux infections fongiques. La sévérité de la racine liégeuse est accrue lorsque le volume d'eau dans le sol est plus élevé. Il en est de même pour les infections racinaires par *Phytophthora* (Workneh et al., 1993).

c) AÉRATION DU MILIEU DE CULTURE

Comme il a été indiqué précédemment, un manque d'oxygène inhibe la croissance racinaire tout en facilitant l'infection des racines par les champignons. Des essais avec *Pythium* ont d'ailleurs démontré l'influence de la teneur en oxygène sur les infections racinaires

d) FERTILISATION

En ce qui concerne l'effet de la fertilisation azotée sur le développement des maladies racinaires de la tomate, les données ne permettent pas de dégager une ligne directrice précise. Dans le cas du pourridié fusarien (*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*), certaines études démontrent que le pourcentage de plants infectés et la sévérité de la maladie sont plus importants lorsque la fertilisation azotée est sous forme ammonium plutôt que sous forme nitrate (Jones et al., 1993 ; Woltz, Jones et Scott, 1992) (tableau 4).

TABLEAU 4 : Effet de la forme d'azote sur le développement du pourridié fusarien.

Forme d'azote	Pourcentage de pourriture racinaire	Pourcentage de pourriture sur tige
Ammonium	92	48
Nitrate	84	36

(Jones *et al.*, 1993).

Cependant, les résultats d'une autre recherche ne démontrent aucune différence pour la sévérité du pourridié fusarien selon la forme d'azote utilisée (tableau 5)

TABLEAU 5 : Effet de la forme d'azote sur la sévérité du pourridié fusarien.

Forme d'azote	Indice de la pourriture racinaire	Indice de la pourriture sur tige
Ammonium	2,5	2,9
Nitrate	2,4	2,7

(Jarvis et Thorpe, 1980).

Pour la racine liégeuse (*Pyrenochaeta lycopersici*), il apparaît que plus le contenu en azote du sol et la concentration en nitrate dans la plante sont élevés, plus la sévérité de la maladie est importante (Workneh et al., 1993). En ce qui a trait à l'effet de la forme d'azote sur la racine liégeuse les données ne sont pas claires. Pour une étude, l'ammonium pourrait augmenter la sévérité de la maladie (Workneh et Van Bruggen, 1994) tandis que dans un autre cas le nitrate favoriserait la racine liégeuse (Worhneh et al., 1993).

e) pH

D'une façon générale, il semble qu'un pH acide favorise le développement des maladies fongiques du système racinaire du moins pour le pourridié fusarien (Jones et al., 1993 ; Woltz, Jones et Scott, 1992) (tableau 6).

TABLEAU 6 : Effet du pH du sol sur la sévérité du pourridié fusarien.

pH du sol	% de plants affectés	% de plants sévèrement affectés
4,5	92	64
5,5	85	20

(Jones et al., 1993)

• ACTIVITÉ MICROBIOLOGIQUE ET CHAMPIGNONS PATHOGÈNES

Les microorganismes d'un milieu de culture peuvent entrer en compétition avec les champignons pathogènes et ainsi diminuer l'incidence de la maladie. Il semble que pour la racine liégeuse, une augmentation de l'activité microbologique d'un sol diminue la sévérité de la maladie (Worhneh et al., 1993 ; Workneh et Van Bruggen, 1994).

De plus, l'addition de certains composts à un sol pourrait augmenter la population de bactéries ayant une activité antagoniste contre *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, *Pyrenochaeta lycopersici*, *Pythium ultimum* et *Rhizoctonia solani* (Alvarez, Gagné et Antoun, 1995).

CONCLUSION

Le développement et la qualité du système racinaire de la tomate de serre impliquent une interaction entre la plante, les organismes pathogènes et les facteurs de l'environnement (pratiques culturales et facteurs climatiques). Il est donc capital d'optimiser les conditions du milieu de culture de façon à créer un environnement des plus favorables à la croissance des racines et minimisant les risques d'infections fongiques. Les éléments à considérer sont :

Fertilisation : préconiser une fertilisation équilibrée en évitant les excès d'azote. L'azote sous forme nitrate semble favoriser le développement d'un système racinaire davantage fasciculée ce qui permet une meilleure exploration du milieu. De plus, selon certaines études, l'azote sous forme ammonium pourrait augmenter la sévérité de certaines maladies parasitaires du système racinaire de la tomate. En fertilisation organique, il est donc important d'optimiser les conditions pour une bonne minéralisation de l'azote (N-organique → N-ammonium → N-nitrate).

pH : éviter les pH acides puisque la sévérité des maladies est augmentée sous de telles conditions. Préconiser un pH situé entre 6,0 et 7,0.

Aération : l'oxygène est un élément essentiel à la croissance des racines. De plus, un manque d'oxygène dans le milieu prédispose les racines aux infections par les champignons pathogènes.

Régie de l'eau : un sol sec augmente la force de résistance à la pénétration des racines ce qui peut être à l'origine de blessures racinaires. De telles blessures sont des portes d'entrée pour les organismes pathogènes. En contre partie, un excès d'eau dans le milieu crée des conditions asphyxiantes lesquelles engendrent des pourritures racinaires non-parasitaires et favorisent les infections fongiques.

Température : éviter les stress thermiques racinaires principalement en ce qui concernent les basses températures car plusieurs champignons pathogènes du sol tolèrent ces températures et peuvent ainsi infecter les racines. Une température avoisinant 20°C apparaît idéal.

Substances phytotoxiques : Assurez-vous d'incorporer une matière organique bien décomposée car lors de la décomposition de certaines composantes organiques, principalement s'il y a un manque d'oxygène et saturation en eau, des substances phytotoxiques peuvent être produites.

Activité microbiologique : une excellente activité microbiologique permettra une meilleure minéralisation de l'azote organique et offrira une compétition aux champignons pathogènes du sol.

Organismes pathogènes : toutes les conditions visant à diminuer le taux d'inoculum dans le milieu de culture, à limiter l'introduction d'organismes pathogènes et à défavoriser l'infection des racines et le développement de la maladie doivent être maximiser. Tous les facteurs cités précédemment entrent en interaction avec les organismes pathogènes et en les gérant adéquatement il est possible de mieux lutter contre les maladies fongiques du système racinaire.

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LE TEXTE

ET

AUTRES RÉFÉRENCES UTILES

Alvarez, M. A., S. Gagné et H. Antoun. 1995. Effect of compost on rhizosphere microflora of the tomato and on the incidence of plant growth-promoting rhizobacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 61 : 194-199.

Blancard, D. et al. 1992. Phénomène de perte de racines en culture hors sol, rôle des *Pythium* spp. *PHM. Revue Horticole* 329 : 35-45.

Campbell, R.N., V.H. Schweers et D.H. Hall 1982. Corky root fo tomato in California caused by *Pyrenochaeta lycopersici* and control by soil fumigation. *Plant Dis.* 66 : 657-661.

Chérif, M., Y. Tirilly et R. R. Bélanger. 1997. Effet of oxygen concentration on plant growth, lipidperoxydation, and receptivity of tomato roots to *Pythium* F under hydroponic conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* 103 : 255-264.

Clerjeau, M. 1976. Exigences thermiques de croissance et d'agressivité de divers isolats de *Pyrenochaeta lycopersici*. *Ann. Phytopathol.* 8 : 9-15.

D'Amato, A. et al. 1993. Water response of tomato in presence of corky root (*Pyrenochaeta lycopersici*) in Southern Italy. *Acta Horticulturae* 335 : 245-250.

Davet, P. 1976a. Comportement sur divers substrats de champignons associés à la maladie des racines liégeuses de la tomate au Liban. *Ann. Phytopathol.* 81 : 159-169.

Davet, P. 1976b. Étude de quelques interactions entre les champignons associés à la maladie des racines liégeuses de la tomate. I. Phase non parasitaire. *Ann. Phytopathol.* 8 : 171-183.

Davet, P. 1976c. Étude de quelques interactions entre les champignons associés à la maladie des racines liégeuses de la tomate. II. Phase parasitaire. *Ann. Phytopathol.* 8 : 183-190.

Grove, G. G. et R. N. Campbell. 1987. Host range and survival in soil of *Pyrenochaeta lycopersici*. *Plant Dis.* 71 : 806-809.

Jarvis, W. R. et H. J. Thorpe. 1980. Effects of nitrate and ammonium nitrogen on severity of Fusarium foot and root rot and on yield of greenhouse tomatoes. *Plant Dis.* 64 : 309-310.

Jones, J. P. et al. 1993. Influence of soil pH, nitrogen source, and transplant drenches on development of crown rot of tomato. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 106 : 170-172.

Jones, J. P, S. S. Woltz, J. W. Scott. 1990. Factors affecting development of Fusarium crown rot fo tomato. *Proc. Fla. State. Hort. Soc.* 103 : 142-148.

Rafin, C. et Y. Tirilly. 1995. Characteristics and pathogenicity of *Pythium* spp. associated with root rot of tomatoes in soilless culture in Brittany, France. *Plant Pathol.* 44 : 779-785.

Shishkoff, N. et R. N. Campbell. 1990. Survival of *Pyrenochaeta lycopersici* and the influence of temperature and cultivar resistance on the development of corky root of tomato. *Plant Dis.* 74 : 889-894.

Shishkoff, N. et R. N. Campbell. 1990. Light brown discoloration of tomato roots caused by *Fusarium oxysporum*. *Plant Dis.* 74 : 894-898.

Woltz, S. S., J. P. Jones et J. W. Scott. 1992. Sodium chloride, nitrogen source, and lime influence *Fusarium* crown rot severity in tomato. *HortScience* 27 : 1087-1088.

Workneh, F. et A. H. C. Van Bruggen. 1994. Suppression of corky root of tomatoes in soils from organic farms associated with soil microbial activity and nitrogen status of soil and tomato tissue. *Phytopathology* 84 : 688-694.

Workneh, F. et. al. 1993. Variables associated with corky root and *Phytophthora* root rot of tomatoes in organic and conventional farms. *Phytopathology* 83 : 581-589.