

Les maladies de la tomate

identifier
connaître
maîtriser

Dominique Blancard
avec la collaboration
de H. Laterrot,
G. Marchoux
et T. Candresse

éditions
Quæ



Les maladies de la tomate

Identifier, connaître, maîtriser

Dominique Blancard

Avec la collaboration de

Henri Laterrot, Georges Marchoux
et Thierry Candresse

Éditions Quæ
c/o Inra
RD 10 78026 Versailles Cedex

© Quæ, 2009

ISBN : 978-2-7592-0329-1

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.

SOMMAIRE

Préface (John Warner Scott)	7
Remerciements	11
Introduction	13
Comment utiliser cet ouvrage ?	14
■ La tomate : la plante et sa culture	17
<i>Lycopersicon esculentum</i> et les espèces affines	18
Diversité culturelle de la tomate et conséquences phytosanitaires : de l'extensif à l'hyper intensif	30
■ Diagnostic des maladies parasitaires et non parasitaires	35
Altérations, anomalies des folioles et des feuilles	43
Anomalies de croissance des plantes et/ou de la forme des folioles et des feuilles	47
Plantes à croissance anormale (végétation rabougrie, bloquée, proliférante...)	49
Feuilles, folioles partiellement ou totalement déformées (cloquées, recroquevillées, incurvées, enroulées...)	57
Feuilles, folioles aux proportions et aux contours anormaux (plus petites, filiformes, dentelées...).....	69
Folioles trouées, découpées, déchiquetées, minées... ..	81
Anomalies de coloration des folioles et des feuilles.....	91
Folioles, feuilles mosaïquées (mosaïques et symptômes assimilés)	95
Folioles, feuilles partiellement ou totalement jaunes (chlorosées), parfois blanches.....	113
Folioles, feuilles présentant d'autres colorations (argentées, bronzées, violacées, ternes...).....	141
Taches sur folioles et sur feuilles.....	149
Petites taches brunes, beiges... souvent nécrotiques en fin d'évolution.....	153
Taches brunes, beiges... plus ou moins étendues, souvent nécrotiques en fin d'évolution.....	173
Taches jaunes, chlorotiques.....	189
Taches à plages poudreuses, veloutées ; présence d'une moisissure... ..	203
Flétrissement, dessèchement, nécrose des folioles et des feuilles (précédés, accompagnés ou non d'un jaunissement)	217
Racines et collet	231
Altérations, anomalies des racines et/ou du collet	233
Jaunissement, brunissement, noircissement des racines, parfois accompagnés d'une altération du collet	239
Autres altérations et anomalies des racines (subérisation superficielle, points noirs, kystes, galles...)	261
Altérations diverses du collet et de la portion de tige proche du sol	281

Altérations, anomalies externes ou internes de la tige	297
Altérations, chancres sur tige (débutant souvent à partir des plaies de taille)	301
Autres altérations et anomalies sur tige (brunissement, aspect bronzé, éclatements, émission de racines adventives)	315
Altérations des vaisseaux et/ou de la moelle (jaunissement, brunissement...)	323
Anomalies, altérations des fruits	345
Anomalies de la forme des fruits (déformations, microfissures, fentes, craquelures, perforations, morsures...)	351
Anomalies de coloration externes ou internes des fruits (marbrure, jaunissement en taches, brunissement plus ou moins marqué...)	365
Taches, altérations, pourritures plus ou moins étendues	377
Taches, altérations de taille plutôt limitée	379
Taches, altérations révélant une localisation particulière (face exposée, cicatrices pédonculaire ou stylaire...)	385
Taches, altérations plutôt étendues évoluant progressivement en pourriture	389
Taches, altérations en anneaux, cercles, divers motifs	409

■ Principales caractéristiques des agents pathogènes, méthodes de lutte..... 413

Les champignons et organismes apparentés	415
Champignons aériens	419
F1 - <i>Alternaria tomatophila</i> (ex- <i>Alternaria solani</i>)	419
F2 - <i>Botrytis cinerea</i>	423
F3 - <i>Didymella lycopersici</i>	430
F4 - <i>Mycovellosiella fulva</i> (<i>Fulvia fulva</i>).....	434
F5 - <i>Leveillula taurica</i>	438
F6 - <i>Oidium neolycopersici</i>	441
F7 - <i>Phytophthora infestans</i>	444
F8 - <i>Stemphylium</i> spp.	453
F9 - Principaux autres champignons parasites des feuilles, rares ou absents en France	456
Champignons telluriques	461
F10 - <i>Colletotrichum coccodes</i>	461
F11 - <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	465
F12 - <i>Pythium</i> spp. et <i>Phytophthora</i> spp.	471
F13 - <i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	484
F14 - <i>Rhizoctonia solani</i> et <i>Thanatephorus cucumeris</i>	488
F15 - <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> et <i>Sclerotinia minor</i>	493
F16 - <i>Sclerotium rolfsii</i> et <i>Athelia rolfsii</i>	499
F17 - <i>Thielaviopsis basicola</i> et <i>Chalara elegans</i>	503
F18 - Principaux autres champignons parasites ou associés aux racines et/ou au collet de la tomate ..	506
Champignons vasculaires	511
F19 - <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	511
F20 - <i>Verticillium dahliae</i> et <i>Verticillium albo-atrum</i>	515
Principaux champignons responsables de pourritures sur fruits	519

Principales mesures et méthodes de protection limitant la réceptivité des fruits et l'installation des micro-organismes	521
Les bactéries	525
Bactéries aériennes	527
F21 - <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i>	527
F22 - <i>Xanthomonas</i> spp.	532
Bactéries plutôt endophytes, vasculaires et/ou telluriques	536
F23 - <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	536
F24 - <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>	538
F25 - <i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i>	544
F26 - <i>Pseudomonas corrugata</i>	547
F27 - <i>Ralstonia solanacearum</i>	550
Les phytoplasmes	555
F28 - « <i>Candidatus Phytoplasma asteris</i> », « <i>Candidatus Phytoplasma solani</i> »... ..	556
Les virus	561
F29 - <i>Pepino mosaic virus</i> (PepMV)	563
F30 - <i>Tobacco mosaic virus</i> (TMV)	568
F31 - <i>Tomato mosaic virus</i> (ToMV)	571
F32 - Autres virus transmis par contact	575
Virus transmis par pucerons	
F33 - <i>Alfalfa mosaic virus</i> (AMV)	577
F34 - <i>Beet western yellows virus</i> (BWYV)	581
F35 - <i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV)	582
F36 - <i>Potato virus Y</i> (PVY)	586
F37 - <i>Tobacco etch virus</i> (TEV)	589
F38 - Autres virus transmis par pucerons	591
Virus transmis par aleurodes	
F39 - <i>Tomato chlorosis virus</i> (ToCV)	594
F40 - <i>Tomato infectious chlorosis virus</i> (TICV)	597
F41 - <i>Tomato yellow leaf curl virus</i> (TYLCV)	599
F42 - Autres virus transmis par aleurodes	604
Virus transmis par thrips	
F43 - <i>Tomato spotted wilt virus</i> (TSWV)	609
F44 - Autres virus transmis par thrips	614
F45 - Virus transmis par cicadelles et autres insectes	616
F46 - Virus transmis par nématodes et champignons	619
F47 - Virus à mode de transmission peu connu	622
Les viroïdes	625
F48	627
Les nématodes	631
F49 - <i>Globodera</i> spp.	633
F50 - <i>Meloidogyne</i> spp.	635
F51 - <i>Pratylenchus</i> spp.	641
F52 - Principaux autres nématodes affectant la tomate	643
Tableaux récapitulatifs des méthodes de protection à l'égard des bioagresseurs	645

■ Résistances aux maladies et aux déprédateurs chez la tomate.....	651
Sources de résistance	652
Nature, niveau d'efficacité et durabilité des résistances	653
Situation des résistances disponibles chez les variétés cultivées et les porte-greffes	655
Le greffage et les porte-greffes résistants	658
Espoirs de nouvelles résistances à court terme	662
■ Glossaire.....	665
■ Principaux ouvrages consultés.....	669
■ Index	671

PRÉFACE

Dr. John (Jay) Warner Scott,
professeur à l'université de Floride

Beaucoup de choses ont changé en ce qui concerne la tomate depuis que Dominique Blancard a publié son premier ouvrage sur les maladies de cette solanacée en 1987. Tout d'abord le nom scientifique « *Solanum lycopersicum* L. » a été proposé pour remplacer « *Lycopersicon esculentum* Mill. » utilisé depuis de nombreuses décennies. En effet, les éléments historiques montrent que « *Solanum lycopersicum* » a été proposé par Linné en 1753, un an avant la proposition de Miller d'associer la tomate au genre *Lycopersicon*. Des études phylogénétiques appuient l'idée que la tomate et ses cousins les *Lycopersicon* sauvages doivent être placés dans le genre *Solanum*. Les deux noms continuent à être utilisés dans la littérature, mais « *S. lycopersicum* » est de plus en plus fréquent.

La consommation de tomate a fortement évolué depuis l'époque, il y a plusieurs centaines d'années, où cette espèce était considérée comme toxique du fait de son appartenance à la même famille que la belladone. Aujourd'hui, la production de tomate se situe au quatrième rang mondial des légumes. Sa consommation est en constante augmentation : elle est de plus de 12 kg par habitant et par an, avec un maximum de plus de 100 kg en Grèce et en Libye. Une partie de l'engouement récent pour la tomate est due à des rapports dans la littérature médicale, à partir des années 1990, affirmant que le lycopène, le pigment rouge de la tomate, est un puissant antioxydant qui réduit les risques de plusieurs cancers, en particulier ceux du tractus gastro-intestinal. Ainsi, aujourd'hui, les bienfaits du lycopène pour la santé sont vantés sur certains produits transformés à base de tomate. Le rendement par hectare et les superficies cultivées sont aussi en constante augmentation. Toutefois, les prix payés aux producteurs n'ont souvent pas suivi le rythme des hausses des coûts de production, et les producteurs doivent faire face à de nombreux défis, notamment liés aux problèmes de main-d'œuvre, de disponibilités en eau ou en terres agricoles en raison de l'expansion urbaine.

De plus, une myriade de maladies et de ravageurs se propagent à un rythme croissant dans le monde globalisé, du fait de l'expansion du commerce international et des voyages touristiques. C'est un véritable défi pour les scientifiques qui doivent trouver des solutions aux problèmes souvent complexes posés par ces bioagresseurs.

Du côté positif, il faut souligner l'accélération des avancées quant aux nouvelles technologies d'amélioration des plantes. À l'avant-garde de ce mouvement, les progrès portent sur le séquençage de l'ADN, grâce auquel il est désormais possible de décoder les génomes à un rythme inespéré il y a 10 ans. Actuellement, un effort mondial est consenti pour séquencer le génome de la tomate, ce qui devrait être accompli à la fin de l'année 2009. Une fois cette information disponible, elle devrait constituer une ressource formidable pour l'amélioration de cette plante : la tomate cultivée a une base génétique étroite, et les sélectionneurs ont été frustrés par leur incapacité à trouver des marqueurs moléculaires liés à des traits d'intérêt économique dans ce génome. Une façon de surmonter cette difficulté est de réaliser des croisements avec des espèces sauvages apparentées, chez lesquelles les polymorphismes sont abondants. Cependant, la limitation de cette approche est que les traits d'intérêt sont généralement liés dans les espèces sauvages à d'autres traits qui ont un impact négatif sur les variétés commerciales. C'est ce qu'on appelle un « fardeau génétique » (*linkage drag*), et il faut souvent de nombreuses années aux sélectionneurs pour séparer les caractères désirés de ceux qui sont préjudiciables. Toutefois, avec le séquençage du génome de la tomate, de vastes possibilités de trouver des marqueurs moléculaires appropriés directement au sein de groupes des tomates cultivées apparaîtront.

Bien sûr, de nombreux traits d'intérêt — y compris de nombreuses résistances aux maladies — se retrouvent dans des espèces sauvages, et les amélioreurs les introgressent dans les tomates cultivées. La connaissance du génome de la tomate permettra non seulement d'éliminer plus efficacement les fardeaux génétiques grâce à l'augmentation du nombre de marqueurs moléculaires près du ou des gènes d'intérêt, mais aussi d'accélérer le processus de rétrocroisements parce que le génome du parent récurrent pourra être activement sélectionné. Même sans avoir encore entièrement séquencé le génome, les progrès dans le domaine des marqueurs moléculaires ont été stupéfiants. En 1987, peu de types de marqueurs étaient disponibles. Les marqueurs isoenzymatiques ont été utilisés, mais ils étaient en faible nombre et parfois éloignés, de sorte que leur portée était limitée. Les marqueurs RFLP (*restriction fragment length polymorphism*) commençaient à être utilisés ; ils ont fourni une couverture du

génomique beaucoup plus dense et ont permis des progrès significatifs dans l'étude des liaisons génétiques. Toutefois, ces marqueurs étaient lourds et coûteux pour les programmes de sélection, étant donné le grand nombre de plantes devant être criblées. Ensuite, au début des années 1990, les marqueurs RAPD (*random amplified polymorphic DNA*) ont été mis au point en utilisant des amorces aléatoires amplifiant des séquences d'ADN grâce à la méthode PCR (*polymerase chain reaction*). Bien qu'utiles, les marqueurs RAPD n'ont pas permis une couverture complète du génome, et bon nombre de ces marqueurs étaient difficiles à utiliser au laboratoire. Depuis lors, un vaste éventail de technologies de marquage ont vu le jour, associées à des sigles et acronymes tels que AFLP, CAPS, COS, SNP ou encore INDEL. L'utilisation massive de tels marqueurs moléculaires a permis de cartographier de nombreux gènes d'intérêt et de renforcer les efforts d'amélioration génétique. Mais si le développement de marqueurs moléculaires *breeder friendly* a permis aux sélectionneurs de disposer d'outils rendant leur travail plus efficace, ces derniers ne constituent nullement une panacée répondant à tous les besoins. Leur développement reste coûteux et prend souvent plusieurs années. À l'avenir, la connaissance de la séquence du génome devrait au moins contribuer à réduire le temps nécessaire pour développer des marqueurs utiles. Néanmoins, l'identification des gènes de résistance aux maladies nécessitera toujours des données de qualité en termes de caractérisation phénotypique. Ceci implique que les sélectionneurs et les pathologistes doivent disposer de méthodes performantes permettant d'apprécier le comportement des plantes aux maladies, que cela soit en conditions artificielles (en serre ou en enceinte climatisée) ou en conditions naturelles, en plein champ. Avec de telles méthodes, les sélectionneurs peuvent réaliser des progrès importants, qu'ils disposent ou non de marqueurs moléculaires.

Une autre approche biotechnologique assez récente permettant de développer des plantes résistantes aux maladies ou d'améliorer certains autres critères est la transformation génétique. Cette méthode permet d'insérer les gènes d'espèces donneuses dans l'ADN d'espèces cultivées. Les plantes obtenues sont désignées sous le terme d'« OGM » (organismes génétiquement modifiés), et certaines d'entre elles comme le maïs, le soja ou le coton sont cultivées sur de très grandes surfaces. Les variétés OGM ne sont pas très répandues en horticulture ou pour d'autres plantes cultivées considérées comme mineures, du fait des coûts réglementaires associés et des craintes exprimées par les consommateurs à leur égard. La transformation génétique a jusqu'à présent été limitée à la mise en œuvre de gènes uniques, les caractères contrôlés quantitativement — qui sont importants dans la sélection de nouvelles variétés — n'ayant pas encore été pris en compte. D'un autre côté, si l'on regarde les résistances disponibles dans les variétés de tomate multirésistantes obtenues par sélection conventionnelle, il est évident que presque toutes ces résistances sont contrôlées par un seul gène. En fait, la plupart de ces résistances sont dominantes, ce qui a facilité l'obtention des variétés hybrides F1 qui sont si largement représentées parmi les variétés commerciales ou destinées aux jardins d'amateurs d'aujourd'hui.

Depuis 1987, la situation sanitaire de la tomate a beaucoup évolué. Il a toujours été fascinant, mais parfois inquiétant, de voir comment certaines maladies émergeaient dans des régions de production d'où elles étaient auparavant absentes. Il est parfois aisé de comprendre pourquoi une maladie émerge, par exemple lorsqu'un insecte vecteur porteur du virus responsable est introduit. Dans d'autres cas, la maladie s'étend de façon spectaculaire sans qu'on en connaisse la ou les raisons.

Il ne fait aucun doute que les maladies constituent une menace pour les cultures de tomate partout où elles se trouvent, et c'est la raison pour laquelle les sélectionneurs ont déployé tant d'efforts pour améliorer sa résistance. Certaines des maladies les plus importantes sont évoquées dans ce qui suit.

Dans les régions tropicales humides, l'une des maladies les plus répandues est le flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum* — le nom latin a changé depuis la dernière parution de l'ouvrage de D. Blancard). Quelques variétés résistantes sont disponibles et certaines d'entre elles sont relativement efficaces pour contrôler la maladie. Cependant, cette bactériose affecte une large gamme d'hôtes (plus de 200 espèces végétales) et, au cours des dernières années, une souche pomme de terre infectant la tomate a été mise en évidence, souche pour laquelle aucune source de résistance performante n'a été trouvée jusqu'à aujourd'hui. Moins omniprésente, la gale bactérienne — causée par plusieurs espèces de *Xanthomonas* — n'en est pas moins une maladie importante. La nomenclature des bactéries en cause a changé, et 4 nouvelles races ont été notamment recensées depuis 1990. Dans les régions tempérées, la moucheture (provoquée par *Pseudomonas tomato*) a été la principale maladie bactérienne, et une deuxième race de cette bactérie a surmonté la résistance utilisée dans certaines zones de production. Le chancre bactérien (dû à *Clavibacter michiganensis*) peut être dévastateur lorsqu'il est transmis mécaniquement au cours des opérations culturales.

L'aleurode de la patate douce (*Bemisia tabaci*) transmet un nombre toujours croissant de virus nommés « *Begomovirus* » ou « *Geminivirus* » dans les régions de production tropicales. Le plus connu d'entre eux est le *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), mais des dizaines de *Geminivirus* du Nouveau Monde causent également de terribles dégâts dans de nombreuses cultures d'Amérique centrale ou d'Amérique du Sud. Dans ces zones de production, il est bien souvent indispensable de disposer d'une variété résistante au flétrissement bactérien et aux *Geminivirus* pour réussir à produire des tomates. Le *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) est un « ancien » virus qui provoque toujours des dégâts considérables dans les régions tropicales et tempérées. Un « nouveau » problème viral, occasionné par le *Pepino mosaic virus* (PepMV), se manifeste dans les serres de production. Il a des répercussions en termes de quarantaine car ce virus, qui survit bien dans le sol et sur les outils, est transmis par les semences et mécaniquement au cours des opérations culturales.

Chez les champignons, de nouvelles souches ou des races d'anciens agents pathogènes sollicitent les sélectionneurs de tomate. C'est le cas de *Phytophthora infestans*, responsable du mildiou, maladie des périodes climatiques froides et humides, dont la cohabitation depuis plusieurs années avec des souches appartenant à des groupes de compatibilités différents permet la reproduction sexuée. Les nombreux sporanges en suspension dans l'air qui découlent de ses épidémies permettent souvent l'infection de variétés porteuses de résistances monogéniques. L'alternariose (*Alternaria tomatophila*) est l'une des maladies foliaires les plus communes pour les producteurs, mais aussi pour les jardiniers amateurs. Une race de *Verticillium dahliae*, responsable de la verticilliose, pour laquelle on ne dispose pas de résistance, occasionne des pertes de récolte dans de nombreuses zones de culture. Il en est de même pour la race 3 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, à l'origine de la fusariose, qui continue de s'étendre, imposant le recours à des variétés résistantes qui n'existaient pas en 1987. Avec l'élimination progressive du bromure de méthyle, *Sclerotium rolfsii* pourrait devenir une grave menace pour les cultures dans de nombreuses régions de production. Il existe également des races de nématodes que les résistances disponibles ne parviennent pas à contrôler, ces résistances étant des plus inefficaces lorsque la température du sol est élevée.

Les insectes provoquent aussi divers types de dommages sur tomate. Les piqûres alimentaires de l'aleurode de la patate douce entraînent la maturation irrégulière des fruits ; les punaises occasionnent des taches sur les fruits et induisent de mauvais goûts ; les thrips causent des lésions dorées superficielles sur fruits peu appétissantes et les chenilles de noctuelles, en consommant directement les fruits, les rendent non commercialisables. Divers acariens peuvent aussi être responsables de graves dommages foliaires, induisant des pertes de rendement conséquentes.

Les maladies abiotiques sont parfois confondues avec des maladies parasitaires, et peuvent également engendrer des pertes importantes. Certaines sont dues à une irrigation ou à des pluies irrégulières, à une fertilisation mal appropriée, à des fluctuations soudaines de la température, et/ou à des interactions entre ces différents paramètres. Les variétés de tomate diffèrent souvent dans leur sensibilité à ces troubles. La sélection de variétés tolérantes aux maladies abiotiques est souvent difficile car les symptômes ne se développent pas toujours dans les conditions de sélection. Un sélectionneur peut ainsi sans le savoir retenir du matériel sensible à un désordre abiotique et s'apercevoir plus tard que cette sensibilité rend sa lignée favorite sans valeur.

Il est évident que de nombreux facteurs, qu'ils soient d'origine parasitaire ou non, peuvent endommager une culture de tomate. Il est important d'être capable d'identifier le problème, afin que les différentes mesures appropriées puissent être mises en œuvre pour y remédier. C'est là qu'un ouvrage tel que celui-ci est si précieux. Bien qu'il ne soit pas toujours possible de déterminer la cause d'une anomalie uniquement à partir de photos, on peut au moins réduire le nombre d'hypothèses, et ainsi faire progresser efficacement le diagnostic et, finalement, trouver la solution.

Face à l'évolution des maladies de la tomate dans le monde et à la disponibilité de nouvelles variétés résistantes ou d'autres moyens de lutte, cet ouvrage fournira au lecteur des connaissances mises à jour, non disponibles dans le précédent ouvrage. En tant que sélectionneur de tomate, j'espère seulement que cette nouvelle édition ne deviendra pas obsolète trop rapidement, parce que nous avons déjà suffisamment de travail ! Profitez de la richesse des informations contenues dans cet ouvrage, elles vous permettront de diagnostiquer et de résoudre vos problèmes sur tomate. Meilleurs vœux de réussite pour vos prochaines cultures de tomate et, pour votre santé et votre bien-être, n'oubliez pas de manger beaucoup de tomates, et d'autres fruits et légumes !

REMERCIEMENTS

Ce livre est le fruit d'une passion certaine pour la tomate et ses maladies, commencée très tôt, dès mon entrée à l'Inra, et fortement influencée par mon collègue et ami Henri Laterrot. Il matérialise aussi de nombreuses pérégrinations sur le terrain, mais également des collaborations, des complicités établies avec de nombreux collègues chercheurs, techniciens, voire producteurs. Qu'ils en soient tous remerciés chaleureusement.

Toute ma reconnaissance va aussi à Michel Clerjeau, qui a largement influé mon orientation vers l'étude des maladies des cultures légumières et de la tomate.

J'exprime toute ma gratitude au docteur John Warner Scott, spécialiste mondial de la tomate, pour l'avoir admirablement préfacé.

Je souhaiterais aussi remercier toutes les personnes qui ont contribué, à titres divers, à améliorer la qualité de cet ouvrage par :

- leur investissement à la rédaction (H. Laterrot, G. Marchoux et T. Candresse) ou à la réalisation de cet ouvrage (S. Chamont) ;
- une précieuse collaboration au cours de diverses études étiologiques (A. Marais, X. Foissac, K. Gèbré Sélassié) ;
- la réalisation de photos en microscopie photonique ou électronique de champignons (R. Corbière, J. Montarry pour les photos 825 et 826), de virus (B. Delécolle pour les photos 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 890-2 et 890-3), de phytoplasmes (M. Garnier pour la photo 879), d'insectes vecteurs (J.-L. Danet pour la photo 880) et de maladies sur le terrain (T. Zitter pour la photo 309, F. Bertrand pour la photo 423 et M. Davis pour les photos 582, 583 et 584) ;
- une relecture critique et constructive (P. Castagnone, L. Delbac, L. Delière, X. Foissac, P. Gognalons, M. Jaquemont, A.-I. Lacordaire, C. Manceau, M. Martinez, M. Piron, P. Pracros, Y. De Schepper...) ;
- leur gentillesse, leur disponibilité et une efficacité certaine dans la concrétisation de l'ouvrage (le service des éditions Quæ, et plus particulièrement D. Bollot, C. Colon, G. Perraud et J. Veltz).

La société Koppert a largement contribué à la réalisation des fiches sur les ravageurs. Je lui exprime toute ma gratitude pour sa confiance et la qualité des documents mis à ma disposition. Ces derniers sont issus de l'ouvrage de M. Malais et W. Ravensberg *Connaître et reconnaître : la biologie des ravageurs des serres et de leurs ennemis naturels* ; ils correspondent aux photos 84, 85, 86, 89, 90, 91, 98, 99, 100, 293, 294, 295, 368, 369, 370, 371, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402 et 403, et aux figures 17, 18, 24, 27, 32 bis, 34, 35, 36, 37 et 49.

Nous voudrions également associer à ces remerciements tous les annonceurs et partenaires qui ont contribué au financement d'un tel ouvrage : Koppert France, BASF Agro, Clause, De Ruiters Seeds France, Gautier Semences, Rijk Zwaan, Sakata Europe, Vilmorin, et enfin et surtout le département de l'INRA Santé des plantes et Environnement.

INTRODUCTION

Pour identifier une maladie sur le terrain, le praticien doit disposer de nombreuses *connaissances* touchant à des disciplines bien différentes, issues à la fois de sa formation académique et de son expérience. Rappelons qu'en grec, *diagnôsis* signifie « connaissance ». L'étendue de cette connaissance est justifiée par le grand nombre et la diversité des causes des maladies. Ainsi un bon praticien doit-il connaître l'ensemble des *symptômes* et des *signes* provoqués par les maladies. Mais son expertise ne se borne pas là : de nombreux éléments liés à la *biologie des agents pathogènes* (sources de contamination, mode de transmission, conditions climatiques favorables...) lui permettent aussi de préciser la nature exacte du *contexte pathologique*. Ce dernier peut s'avérer insuffisant ou inapproprié, notamment dans le cadre d'une maladie non parasitaire. Grâce à de nombreuses observations et à des questions judicieuses, il va aussi pouvoir définir le *contexte culturel* de la maladie. En fait, le diagnosticien est un véritable détective, utilisant une procédure construite à partir de ses connaissances et surtout de sa pratique du diagnostic. Celle-ci est constituée de *séquences d'observations progressives* des plantes malades et de leurs différents organes, de questions ayant surtout pour objectif de préciser le contexte culturel, et de réflexions permettant de faire le *tri des causes hypothétiques* et de les *hiérarchiser*.

Cet ouvrage tente de formaliser au mieux cet art difficile que représente le diagnostic des maladies des plantes. Nous avons repris et perfectionné la démarche particulière ébauchée dans nos précédents écrits sur les maladies de la tomate, des Cucurbitacées, du tabac et des salades, afin d'y intégrer les connaissances et le cheminement intellectuel qu'utilise un phytopathologiste généraliste chevronné confronté à l'identification des maladies affectant la tomate.

Les objectifs de ce livre sont donc multiples :

- permettre aux lecteurs d'*identifier de façon interactive les maladies parasitaires et non parasitaires* sévissant sur tomate dans le monde, en évitant les nombreuses confusions possibles de détermination, ceci grâce à une importante iconographie ;
- *mettre à leur disposition une synthèse des connaissances récentes* sur la quasi-totalité des bioagresseurs sévissant sur tomate ;
- les aider à *choisir*, en connaissance de cause, *les méthodes de protection* les plus pertinentes à employer pour contrôler ces bioagresseurs ;
- contribuer à leur autoformation au diagnostic des maladies de la tomate afin d'améliorer leur niveau d'expertise.

La partie Diagnostic des maladies parasitaires et non parasitaires est conçue comme un véritable *outil de diagnostic*, illustrée par plus de 900 photographies en couleurs et de nombreuses figures facilitant l'observation des plantes. Cet outil est aisément consultable car les symptômes sont regroupés dans des rubriques simples. Il est également pédagogique et devrait à terme permettre au lecteur d'acquérir progressivement la démarche et les nombreux réflexes indispensables à l'établissement d'un diagnostic fiable.

Nous attirons l'attention des futurs lecteurs sur l'intérêt d'utiliser cet ouvrage en tenant compte de la procédure d'utilisation définie dans les pages qui suivent. En effet, certains d'entre eux, déjà initiés ou non, auront tendance à vouloir « court-circuiter » la démarche proposée. Dans ce cas, ils pourront être dérouterés par l'organisation de l'ouvrage qui n'est pas conçu classiquement en fonction de la nature des maladies, mais plutôt en tenant compte des symptômes qui les caractérisent.

Une fois l'identification effectuée, le lecteur trouvera pour la majorité des bioagresseurs une *fiche bien renseignée* dans la troisième partie. Principales caractéristiques des agents pathogènes, méthodes de protection. Cette fiche détaillera leur répartition et leur incidence sur tomate dans le monde, les principaux symptômes qu'ils occasionnent et leurs particularités morphologiques et biologiques. Fort de ces connaissances, le lecteur pourra aussi y choisir les méthodes de lutte les mieux adaptées et définir une stratégie de protection à mettre en œuvre immédiatement ou lors de la prochaine culture.

Deux autres parties, situées de part et d'autre des précédentes, ont pour vocation de mieux faire connaître, de façon synthétique, la tomate et sa famille botanique, sa culture... mais surtout les potentialités qu'offre cette solanacée en matière de résistances aux maladies.

COMMENT UTILISER CET OUVRAGE

Avertissement

Face à autant de photos, le lecteur sera souvent tenté d'utiliser cet ouvrage en le feuilletant rapidement et de réaliser des diagnostics en comparant les symptômes observés sur les plantes malades à ceux supposés leur ressembler dans l'ouvrage. Nous voudrions lui rappeler que la procédure de diagnostic proposée ici, bien que parfois un peu fastidieuse, est le fruit d'une réflexion assez poussée sur cet acte souvent difficile que représente l'identification d'une maladie. Suivre attentivement cette procédure est le meilleur garant d'une détermination fiable et d'une autoformation progressive au diagnostic des maladies parasitaires et non parasitaires de la tomate.

Bien préparer son diagnostic

La détermination des maladies de la tomate n'est pas facile, comme vous vous en rendrez compte ultérieurement. En effet, cette plante est affectée par de multiples maladies et les confusions de diagnostic sont nombreuses. Afin de mettre toutes les chances de votre côté, nous vous conseillons d'adopter la procédure suivante.

- a) **Choisissez pour réaliser vos observations des plantes malades aux symptômes plus ou moins évolués et représentatifs des différents stades d'évolution de la maladie.**

Il est indispensable de récupérer des plantes entières, y compris leur système racinaire. Déterrer ce dernier avec grand soin et laver les racines. Soulignons l'intérêt de bien nettoyer ces dernières : cet acte, souvent négligé par les techniciens et les producteurs, conditionne la détection de nombreux bioagresseurs, telluriques notamment.

- b) **Collectez un maximum d'informations** (établir un diagnostic consiste souvent à réaliser une véritable enquête) :
- **sur la maladie et ses symptômes** (répartition dans la parcelle et sur les plantes, éventuellement sur les organes — voir pages 36-41 —, vitesse d'évolution dans la culture et sur les plantes, conditions climatiques ayant précédé son apparition ou semblant favoriser son extension...)
 - **sur la plante** (caractéristiques variétales et notamment la ou les résistances aux bioagresseurs, origine et qualités des semences et des plants...)
 - **sur la parcelle** (situation, caractéristiques du sol, présence de zones hydromorphes, précédents culturaux, apport de terre ou de fumier...)
 - **sur les interventions agroculturelles effectuées** (fertilisation, gestion de l'irrigation — mode d'irrigation, fréquence et quantités apportées —, gestion du climat sous abris, application de pesticides sur la culture ou à proximité — dose, volume d'eau/ha, matériel utilisé...).



Signalons que des questions complémentaires portant sur ces informations seront souvent nécessaires en cours de diagnostic afin de confirmer ou d'infirmer certaines hypothèses.

Réaliser le diagnostic

- a) **Déterminez soigneusement la localisation et la nature du ou des symptômes visibles sur les plantes malades** et, par la suite, choisissez une ou plusieurs des rubriques proposées.

Des symptômes pourront être observés sur tous les organes de la tomate ; leur présence sur ces derniers variera en fonction des maladies. Certaines n'affecteront par exemple que les fruits, d'autres se manifesteront à la fois sur ces derniers, mais également sur les feuilles, dans la tige...

Aussi la structuration de la partie 2 de l'ouvrage vous permettra-t-elle de consulter une grande diversité de symptômes visibles sur chacun des organes de la tomate. De nombreux liens entre les différentes rubriques de cette partie vous aideront à identifier aussi bien une maladie spécifique à un organe qu'une affection se manifestant sur plusieurs d'entre eux. L'organisation est assez simple et matérialise la chronologie d'observation de la plante lorsqu'un phytopathologiste généraliste est confronté à une ou des plantes malades.

Les folioles et les feuilles

page 43

Anomalies de **croissance**
des plantes et/ou de la **forme**
des folioles et des feuilles



page 47

Anomalies de **coloration**
des folioles et des feuilles



page 91

Taches, altérations sur folioles
et sur feuilles



page 149

Flétrissement, dessèchement, **nécrose**
des folioles et des feuilles (précédés,
accompagnés ou non d'un **jaunissement**)



page 217

Les racines et/ou le collet

page 231



La tige

page 297



Les fruits

page 345



Nous vous proposerons d'observer dans un premier temps le feuillage, qui peut être affecté directement ou traduire les effets de lésions déjà en place sur un autre organe. Les très nombreux symptômes observables ont été répartis dans quatre sous-parties, portant sur les anomalies de forme ou de coloration des feuilles, les taches sur feuilles, les flétrissements, dessèchements et nécrose foliaires, et comportant chacun diverses rubriques.

Dans bon nombre de situations, vous devrez passer en revue les autres organes de la tomate afin de compléter une hypothèse ou d'en trouver d'autres. Avec le même souci de simplicité et de clarté, nous avons subdivisé les symptômes observables sur ces organes dans trois autres chapitres : « Altérations, anomalies des racines et/ou du collet », « Altérations, anomalies externes ou internes de la tige » et « Altérations, anomalies des fruits ». L'observation des organes telluriques (racines, collet) nécessitera de bien laver les racines pour pouvoir les observer au mieux. La tige sera détaillée sur toute sa longueur, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur, en ayant pris soin de la couper longitudinalement ou transversalement à différents niveaux. Un chapitre important a été consacré aux fruits qui sont affectés par de nombreuses maladies, notamment spécifiques, s'exprimant aussi bien en plein champ qu'après récolte en cours de conservation.

b) Reportez-vous à la ou aux rubriques qui correspondent le mieux aux symptômes « généralistes » que vous observez sur les plantes.

Au début de chaque chapitre ou sous-chapitre sont mentionnés :

- les symptômes étudiés ;
- les causes envisageables.

Plusieurs symptômes vous sont proposés, ils correspondent à plusieurs hypothèses envisageables.

c) Choisissez maintenant un symptôme plus « spécifique » et consultez directement la ou les pages qui le décrivent.

Dans bon nombre de cas, il sera judicieux de s'intéresser à l'ensemble des symptômes de la sous-rubrique ou de la rubrique afin d'éviter les confusions.

À ce moment du diagnostic, il y a lieu d'être plus précis dans la définition du ou des symptômes observés. De plus, à chaque symptôme seront associées une ou plusieurs « causes possibles » qu'il conviendra de discriminer (à un symptôme correspondra plusieurs hypothèses possibles).

d) Déterminez la cause du symptôme.

Pour faire le tri entre les différentes hypothèses, nous vous suggérons :

- de comparer le ou les symptômes observés sur les plantes avec ceux présentés sur les nombreuses photos ;
- d'utiliser les « arguments complémentaires de diagnostic » ;
- de ne pas hésiter à examiner les symptômes décrits dans les pages voisines, ou même dans d'autres chapitres ou sous-chapitres lorsque nous vous le conseillerons.

À ce stade du diagnostic, vous devriez avoir déterminé assez précisément la nature de la maladie qui affecte votre culture ou au moins bien sérié les quelques hypothèses envisageables. Si vous avez le moindre doute, n'hésitez pas à contacter un laboratoire spécialisé.

Ajoutons que des dessins, des photos, des commentaires parsèment cette partie de l'ouvrage consacrée au diagnostic et devraient permettre de faciliter votre analyse. Ils sont accompagnés de symboles qui précisent la vocation des informations données.



Diagnostic : définit le niveau de difficulté du diagnostic.



Aide de diagnostic : précise la nature et/ou la répartition d'un symptôme, fournit d'autres critères de diagnostic.



Montre et/ou explique un symptôme et son évolution.



Suggère l'utilisation d'un instrument d'observation (loupe, loupe binoculaire, microscope...).

Bien connaître la maladie et choisir des méthodes de protection adaptées

Une fois le diagnostic effectué, vous vous reporterez aux fiches synthétisant les connaissances sur les bioagresseurs de la tomate et constituant la troisième partie de l'ouvrage. Elles font le point sur les aspects suivants :

- **fréquence et importance des dégâts** (vision synthétique de la répartition de la maladie dans le monde, de sa fréquence et de son incidence dans les cultures) ;
 - **symptômes** (brève énumération des symptômes, indication des numéros des photos les représentant dans la deuxième partie de l'ouvrage) ;
 - **biologie, épidémiologie** (description des principales étapes du cycle biologique de l'agent pathogène : conservation, pénétration, dissémination, conditions favorables à son développement...) ;
 - **méthodes de protection** (évoquant des différentes méthodes de protection — prophylactiques, chimiques, génétiques, biologiques — à appliquer en cours de culture et lors de la culture suivante).
- Nous vous conseillons vivement de consulter l'avis au lecteur page 417.**

Dans le cas des maladies non parasitaires, les moyens à mettre en œuvre pour limiter leur évolution découleront bien souvent de la ou des causes à l'origine. Dans de nombreux cas, une mauvaise maîtrise du climat et/ou des conditions agroculturelles mal adaptées en seront responsables. Pour y remédier, il conviendra de corriger les erreurs commises et/ou d'assurer un meilleur « confort » aux plantes. Les solutions envisageables seront dans ce cas détaillées directement dans la seconde partie de l'ouvrage.



1 La tomate : la plante et sa culture

Lycopersicon esculentum et les espèces affines¹

• Origine, historique de son extension dans le monde

La tomate, inconnue dans le Vieux Monde jusqu'au XVI^e siècle et encore très peu consommée au XIX^e siècle, est devenue le légume vedette du XX^e siècle, aussi bien en culture commerciale que dans les jardins familiaux. Elle est appréciée pour sa fraîcheur et constitue la base ou la garniture de toutes sortes de plats, qu'elle

soit crue ou cuite. Son utilisation en sauces est ancienne, en particulier en Italie. L'industrie de transformation propose des préparations nombreuses et variées : concentré, jus, tomates pelées, tomates concassées, etc. Du fait de son niveau de consommation relativement élevé, la tomate intervient pour une part importante dans l'apport en vitamines et en sels minéraux dans l'alimentation (tableau 1).

Tableau 1 - Composition chimique des fruits de la tomate (%).

Eau				95
Matières sèches totales	Matières sèches solubles	Sucres (glucose, fructose)	55	
		Acides (citrique, malique)	12	
		Sels minéraux	7	79
		Pigments caroténoïdes*, composés volatils, vitamines**	5	
		Matières sèches insolubles (cellulose, matières pectiques)		21

* Pigments jaune orange (bêta-carotène = provitamine A) ou rouge (lycopène).

** Vitamines C (18 à 25 mg/100 g de fruits frais), B, K, E.

L'arrivée de la tomate dans le Vieux Monde

Originaire d'Amérique du sud, la tomate fut domestiquée au Mexique. Son introduction en Espagne et en Italie, puis, de là, dans les autres pays européens, remonte à la première moitié du XVI^e siècle (figure 1). À l'origine, elle était cultivée par les Aztèques ; son nom provient de « *tomatl* » qui, dans la langue nahuatl parlée dans la région de Mexico, correspond à *Physalis philadelphica* ; la tomate à proprement parler, *Lycopersicon esculentum*, était appelée « *jito-matl* ».

La première évocation de la tomate dans le Vieux Monde est celle du botaniste italien Pietro Andreas Matthioli en 1544. Ce dernier la présente comme une espèce portant « des fruits aplatis et côtelés, qui de vert deviennent jaune d'or et que certains consomment frits dans de l'huile avec du sel et du poivre, comme les

aubergines et les champignons ». Une décennie plus tard, il indique qu'il existe des tomates jaunes et des tomates rouges. Le nom italien « *pomodoro* » semble confirmer que les premières introductions de tomates, du moins celles qui sont arrivées en Italie, produisaient des fruits jaunes. Dans les textes des XVI^e et XVII^e siècles, la tomate reçoit divers noms, dont celui de « *mala aurea* », l'équivalent latin de « *pomodoro* ». Le nom de « pomme d'amour » en français, avec les équivalents « *love apple* » en anglais, et « *liebesapfel* » en allemand, font allusion à l'effet aphrodisiaque alors attribué à ce fruit.

Dans le Vieux Monde, les premières représentations graphiques de la tomate sont celles de Rembertus Dodonaeus (Anvers, 1553), Georg Oelinger (Nuremberg, 1553), de nouveau R. Dodonaeus (Anvers, 1574 ; voir figure 2) et Castore Durante (Rome, 1585 ; voir figure 3).

1. Peralta, Knapp et Spooner ont proposé en 2006 une nouvelle nomenclature des espèces appartenant au genre *Lycopersicon*, en partie présentée dans l'encadré 1 (Peralta, Knapp et Spooner, 2006. *Nomenclature for Wild and Cultivated Tomatoes*. TGC Report, 56 : 6-12). Cette classification encore trop récente ne fait pas l'unanimité, aussi avons-nous préféré conserver les anciennes appellations des différentes espèces de *Lycopersicon* que nous évoquerons dans l'ouvrage.