

**REVUE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

## I – La Tomate, Plante-hôte

### 1. Origine et histoire

« La tomate vient de l'Amérique du Sud, avec des formes sauvages rencontrées au Pérou et en Equateur, mais elle a été cultivée pour la première fois au Mexique par les Aztèques qui l'appelaient "tomalt". L'Europe ne l'a connue que vers le XVI<sup>ème</sup> siècle lorsque les espagnols et les portugais l'ont ramenée de l'Amérique. Les italiens l'ont appelée "pomodoro" qui se traduit par "pomme d'or" et en font surtout de la sauce. De l'Italie, elle gagne la Provence et conquiert petit à petit la France qui ne l'utilisait que de façon ornementale, craignant sa toxicité. Ce n'est qu'au cours du XVIII<sup>ème</sup> siècle que la tomate va vraiment être consommée de façon alimentaire, et apparaitre dans les catalogues de graines (1778).

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les migrants européens emportent avec eux des graines de tomates aux Etats-Unis, ce qui va permettre au pays de fabriquer le ketchup le plus célèbre au monde et de devenir l'un des plus gros producteurs actuels, derrière la Chine qui, bien que ne consommant pas de tomates, en a fait une méga-industrie qu'elle délocalise même en Afrique. » (Anonyme ,2018).

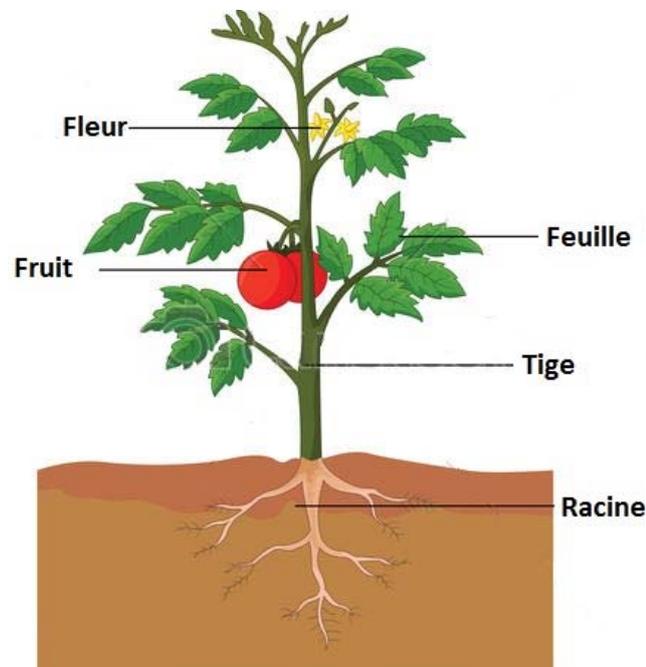
### 2. Description botanique:

La tomate est une plante herbacée de la famille des Solanacées, genre *Lycopersicon*, et l'espèce *esculentum*, largement cultivée pour son fruit. Le terme désigne à la fois la plante et le fruit charnu qui, bien qu'il soit biologiquement un fruit, est considéré comme une des légumes les plus importants dans l'alimentation humain et qui se consomme frais ou transformé. Elle présente une multitude de variétés et se cultive à l'origine dans un environnement chaud, comme l'Amérique du Sud lui offrait.

### 3. L'appareil végétatif:

Il s'agit d'une plante à tige érigée ou prostrée jusqu'à 2-4 m de long ; forte racine pivotante atteignant 0.5 m de profondeur ou plus, avec un système dense de racines latérales et adventives ; tige pleine, fortement poilue et glanduleuse. Les feuilles disposées en spirale, imparipennés, à contour de 15-50 cm x 10-30 cm; stipules absentes ; pétioles de 3-6 cm de longueur ; folioles de taille inégale, le plus souvent 7-9 de grande taille sur chaque feuille, ovales à oblongues, de 5-10 cm de long, irrégulièrement dentées et parfois pennatifides à la

base, plus un nombre variable de folioles de petite taille; folioles recouvertes de poiles glandulaires (Grubben et Denton, 2004).



**Fig.1** - Plant de tomate(Anonyme,2018)

#### 4. L'appareil reproducteur

Les fleurs sont généralement pentamères à pétales soudés et hermaphrodites, leur structure rend difficile l'allogamie. Elles sont regroupées en inflorescences ou bouquets d'une dizaine d'unités (ce chiffre est très variable, les inflorescences de certains génotypes pouvant présenter jusqu'à 100 fleurs). Suivant le type de croissance, elles alternent très régulièrement avec le nombre de feuilles : chaque bouquet étant séparé par trois feuilles et la plante présentant un nombre infini d'inflorescences dans le cas de la croissance indéterminée ou plus irrégulièrement dans le cas de la croissance déterminée. Dans ce cas, le nombre de feuilles entre bouquets diminue jusqu'à ce que la tige se termine par une inflorescence.

Les fruits sont des baies charnues à plusieurs loges. Chaque loge est remplie d'un gel dans lequel sont positionnées les graines qui sont attachées à un placenta positionné au centre du fruit. Quatre phases caractérisent le développement du fruit :

- le développement de l'ovaire activé par la fécondation ;
- les divisions cellulaires qui s'étendent sur une période de 5 à 10 jours, l'activité mitotique étant principalement active dans le péricarpe. A la fin de cette phase, commencent les divisions cellulaires dans les embryons ;
- l'expansion cellulaire, active jusqu'à ce que le fruit atteigne sa taille finale. A ce stade, la force de puits du fruit est exercée par les cellules en expansion. Pour la plupart des espèces, l'expansion cellulaire est un paramètre primordial de la taille finale du fruit ; chez la tomate, le volume des cellules dans le placenta, les loges et le mésocarpe peut augmenter d'un facteur 10 entre le début et la fin de l'expansion cellulaire ;
- le mûrissement qui est activé par l'induction de l'hormone éthylène; durant cette phase, le fruit subit des changements biochimiques et physiologiques qui incluent le ramollissement, le changement de couleur et le radoucissement associé avec une diminution de l'acidité et une augmentation de la teneur en composés aromatiques.

Après la fécondation, 36 à 60 jours sont nécessaires, suivant les génotypes, pour que le fruit atteigne la maturité. La taille finale du fruit est proportionnelle au nombre de cellules dans l'ovaire avant fécondation, au nombre d'ovules fécondés, au nombre défini de divisions cellulaires qui ont lieu dans le jeune ovaire après fécondation et à l'importance de l'expansion cellulaire.

Les fruits de tomate peuvent présenter des formes très diverses (plus ou moins aplatis, ronds, cordiformes, piriformes, ...) mais les cultivars modernes européens ou nord-américains sont soit de forme approchant l'arrondi (marché de frais) soit plus ou moins allongés (marché d'industrie) (Duffé, 2003).

Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g (Naika *et al.*, 2005).

## 5. Classification de la tomate

Selon le système de classification d'Arthur Cronquist (1981) la systématique de la tomate la suivant (Krishari, 2005 ; Singh, 2004 ; Sharma, 2009) :

- Règne: Plantae

- **Division:** Magnoliophyta
- **Classe:** Magnoliopsida
- **Sous classe:** Asteridae
- **Ordre:** Solanales
- **Famille:** solanaceae
- **Genre:** *Lycopersicum*
- **Espèce:** *esculentum*

**Tableau 1** - Composition biochimique de la tomate crue (Zidani, 2009).

Tomate crue (Teneur par 100 g)	
Energie	18.0 (kcal)
Energie	77.0 (kJ)
Eau	93.3 (g)
Glucides disponibles	03.2 (g)
Fibres alimentaires	01.3 (g)
Lipides	00.2 (g)
Protéines	00.9 (g)
Sodium	06.0 (g)
Potassium	245.0 (g)
Magnésium	11.0 (g)
Phosphore	25.0 (g)
Calcium	10.0 (g)
Fer	0.40 (g)
Carotène	600.0 (µg)
Lycopène	06.0 (mg)

## 6. La culture de tomate:

- Dans le monde:

La tomate est la culture la plus répandue dans le monde après la pomme de terre (Arbaoui, 1984). Selon les statistiques de l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la production mondiale de tomates s'élevait en 2007 à 126,2 Millions de tonnes pour une superficie de 4,63 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 27,3 tonnes à l'hectare (tableau.2).

**Tableau 2** - Production annuelle de tomate par pays en tonnes. (Faostat, 2016)

	<i>Production annuelle (en Tonne)</i>
Chine	56423811
U.S.A	13038410
Espagne	4671807
Italie	6437572
Mexique	4047171
Maroc	1231248
Iraq	286596
France	640940
Algérie	1280570

- En

Algérie:

Selon les statistiques officielles du Ministère de l'agriculture et du développement rural, la production de tomate s'élevait en 2006 à 5.489.336 Qx à l'hectare.

Tableau 3 - Production annuel de tomate en Algérie par région en Quintaux (**Mag.2006**).

Régions	Production annuelle (Qx)
Biskra	966.308
Oran	35.878
Mascara	129.000
Tlemcen	211.000
Ain Temouchent	150.000
Mostaganem	426.200
Sidi Belabbes	54.930
Relizane	53.200
Tiaret	64.385
Chlef	290.520

En Algérie, la région de Biskra est en tête avec une production annuelle de 966.308 Qx pour une superficie de 1.341 hectares, soit un rendement de 720.6 Qw à l'hectare (**Mag, 2006**).

## 7. Principales maladies fongiques de la tomate

Tableau 4 - Principales maladies fongiques de la tomate

<i>Maladies</i>	<i>Symptômes</i>	<i>Agent causal</i>
Anthracnose	Tâches plus ou moins circulaires de 1 cm avec un centre noirâtre sur les fruits mûrs	<i>Colletotrichum coccodes</i>
Mildiou	Légères tâches foncées, avec un point jaune en leur centre, sont visibles sur les feuilles ayant parfois un développement centrifuge et centripète. Sur la face inférieure des feuilles, les tâches sont blanches. Les fruits se couvrent de tâches brunes et les feuilles flétrissent.	<i>Phytophthora infestans</i>
Verticilliose	Jaunissement en forme de V des feuilles de bas en haut suivi d'un flétrissement avec un léger brunissement des vaisseaux après une coupe	<i>Verticillium albo-atrum</i>
Alternariose	Tâches rondes et brunes avec des cercles concentriques apparaissant sur les feuilles avec un diamètre de 1,5 cm. Des grossiers peuvent apparaître sur les tiges et les feuilles. Les fleurs et les jeunes fruits tombent.	<i>Alternaria solani</i>
Flétrissure fusarienne	Jaunissement des feuilles de bas en haut. Apparition de racines avortées au bas de la tige. Tissus ligneux brun rougeâtre.	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>lycopersici</i>
Pourriture des racines et du collet	Brunissement des racines, de leur cylindre central et des vaisseaux situés au niveau du pivot et du collet. Flétrissement juste avant la cueillette. Les feuilles hautes fanent avant les feuilles basses avec une décoloration jaune ou dorée. Les fruits n'ont pas leur brillance normale.	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp <i>radicis-lycopersici</i>

## II – L'agent causal

1- Le genre *Fusarium*

## 1-1. Généralités :

Le genre *Fusarium*, décrit pour la première fois par **Linke en 1809**, appartient à la famille des Tuberculariacées, dans le groupe des Hyphomycètes (champignons filamenteux).

L'absence de reproduction sexuée permet de rattacher ce champignon aux Deutéromycètes (champignons imparfaits), regroupement artificiel de formes asexuées (ou anamorphes) variées. Certaines espèces de *Fusarium* ont une forme sexuée, dite également forme parfaite ou téléomorphe, appartenant aux genres *Necteria* ou *Gibberella*, (**Gams et Nirenberg, 1989**) dans l'ordre des Hypocréales, ou des Ascomycètes.

Comme pour tous les champignons, la classification originelle des *Fusarium* est basée sur des critères cultureux et surtout morphologiques établis par des observations microscopiques. Le caractère commun aux *Fusarium* est la production de macroconidies pluricellulaires en forme de croissant. Leur rattachement aux Tuberculariacées est lié à la formation des macroconidies sur des fructifications différenciées appelées sporodochies. D'autres types de spores asexuées peuvent être produits : des microconidies unicellulaires ou bicellulaires de forme variées, ainsi que des chlamydozores, spore de résistance.

Les critères morphologiques utilisés pour la classification des *Fusarium* sont la forme et la taille des macroconidies, la présence ou l'absence de microconidies et de chlamydozores ainsi que leur forme, et la structure des conidiophores.

Les *Fusaria* sont considérés actuellement comme des ascomycètes, ubiquistes abondants dans les sols et souvent phytopathogènes. Cependant, ils peuvent survivre à l'état saprophytique dans les débris végétaux, et au niveau de la rhizosphère des plantes non hôtes (Booth, 1971; Edel *et al.*, 1995).

Le champignon se conserve dans le sol grâce à ses chlamydozores et au mycélium capable de survivre sur les débris (Erskine et Bayaa, 1996).

## 1.2. Taxonomie

La diversité et l'extrême variabilité des champignons appartenant au genre *Fusarium* expliquent les difficultés rencontrées dans leur classification, d'où l'existence de nombreux systèmes taxonomiques. Ainsi, les travaux de Wollenweber et Rincking (1935), qui ont servi de références, ont pu décrire 65 espèces, 55 variétés et 22 formes, rassemblées en 16 sections et 06 sous-sections.

Le genre *Fusarium* a été profondément revu par Synder et Hansen (1940, 1941, 1945), Tousson et Nelson (1968, 1976) et Messiaen et Cassini (1968, 1981). Ils ont simplifié la classification pour ne retenir que 09 espèces, dans le but de permettre une détermination rapide des parasites rencontrés (*in* Bounaga, 1985).

D'autres systèmes taxonomiques proposés, s'appuyant sur les travaux de (Wollenweber, et Reinking, 1935) ont été suggérés, notamment par Raillo (1935), Bilai (1955, 1977), Gordon (1952, 1960, 1965), Booth (1971, 1975, 1981), Joffe (1974) et Gerlach (1970, 1977, 1981), et ils ont conservé un certain nombre de section et d'espèces avec quelques modifications (*in* Bounaga, 1985).

Le genre *Fusarium* est économiquement très important car il regroupe beaucoup d'espèces phytopathogènes susceptibles d'attaquer un grand nombre de plantes. Ainsi, plus de 120 formes spécialisées et races ont été décrites chez *F. oxysporum* (Armstrong et Armstrong, 1981). De plus, beaucoup d'espèces saprophytes sont capables de se développer en tant que pathogènes secondaires sur des tissus végétaux sénescents.

## 2 - L'espèce *Fusarium oxysporum*:

### 2.1. Position systématique:

Le système Saccardo de classification des champignons imparfaits « fungi imperfecti » classe *Fusarium* comme suit : (Henni, 1998)

- Embranchement : Thallophytes.
- Classe : Deutéromycètes.
- Ordre : Monodiales .
- Famille : Tuberculariacées .
- Genre : *Fusarium*
- Espèce : *oxysporum*

### 2.2. Position taxonomique :

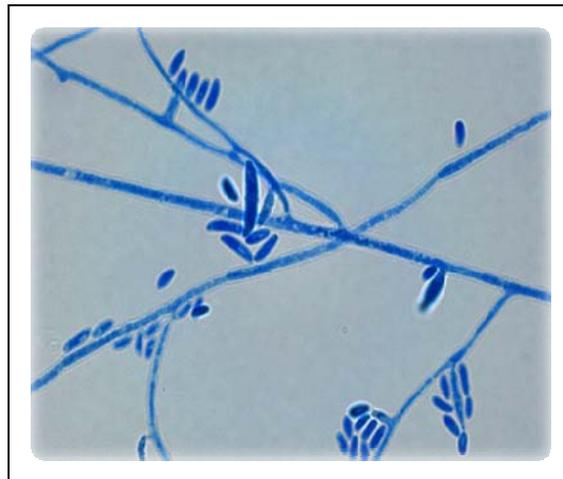
Les nombreuses controverses dans les études taxonomiques du genre *Fusarium* ont peu concerné l'espèce *F. oxysporum*. En effet, Snyder et Hansen (1940) ont montré que les différences morphologiques décrites par Wollenweber et Reinking (1935), pour distinguer plusieurs espèces dans la section Elegans, n'étaient que des variations culturelles d'une même espèce appelée *F. oxysporum*. La plupart des systèmes taxonomiques proposés ultérieurement ont maintenu *F. oxysporum* comme espèce unique dans la section Elegans. La seule controverse qui subsiste concerne la position taxonomique de *F. redolens*, considérée comme une espèce (Wollenweber et Reinking, 1935 ; Gerlach et Nirenberg, 1982) ou comme une variété de *F. oxysporum* (Booth, 1971 ; Nelson *et al*, 1983). Cependant, des données récentes tendent à définir *F. redolens* comme une espèce à part entière (Waalwijk *et al*., 1996 ; Baayen *et al*., 1997 ; O'Donnell *et al*., 1998).

### 2.3. Description morphologique :

Au niveau macroscopique, l'aspect culturel de *F. oxysporum* sur milieu Potato Dextrose Agar (PDA) correspond à un mycélium aérien de croissance rapide, et de couleur

variable allant du blanc au rose ou violet. Cependant, l'aspect des souches de *F. oxysporum* peut fréquemment varier d'une culture à l'autre après des repiquages successifs, voire dans une même culture où des sections de couleurs ou d'aspects différents peuvent apparaître (Burnett, 1984 ; Windels, 1992). Au niveau microscopique, *F. oxysporum* se caractérise par des:

- Microconidies abondantes généralement monocellulaires, ovales ou réniformes, produites en fausses têtes sur des conidiophores monophialides courts.



**Fig. 2- Microconidies ( Blancard,2013)**

- Macroconidies fusiformes, également abondantes, comportent quatre à six cellules dont une cellule apicale plus mince que les autres et une cellule basale en forme de pied.



**Fig. 3 – Macroconidies (Blancard, 2013)**

Les chlamydospores sont présentes, solitaires ou en paires, lisses ou rugueuses, globuleuses terminales ou intercalaires de 5 à 15 µm de diamètre (Komi, 1993). Se sont des organes de conservation, résultant de l'accumulation de réserves dans une région d'une conidie qui se dilate quelque peu et s'entoure finalement d'une membrane épaisse de teinte généralement foncée.

Les organes massifs producteurs de spore sont de deux types. La sporodochie, est un organe fructifère forme d'axes ramifiés porteurs à leur extrémité les monophialides donnant naissance aux macroconidies. Les sporodochies peuvent être dispersées dans le mycélium aérien et invisible à l'œil nu dans les cultures. Lorsque les sporodochies sont rassemblées, elles apparaissent sous forme de pustules de quelques millimètres de diamètre visible à l'œil nu (Henni, 1998)

#### 2.4. La Variabilité de la morphologie

Les variations portent sur des caractères culturaux (aspect du mycélium aérien, pigmentation du thalle et du milieu). Sur les caractéristiques biométriques sur des spores (taille, cloisonnement, forme, etc....) et des organes fructifères qui leur donnent éventuellement naissance (sporodochies et pionnotes). Enfin sur la présence ou l'absence de sclérotés (Henni *et al.*,1994)

D'après ces variations, les souches de *Fusarium oxysporum* sont classées en différents morphotypes représentés dans le tableau suivant :

**Tableau 5** - Les différents morphotypes observés chez *Fusarium oxysporum*  
(Bounaga, 1985)

Morphotypes	Caractéristique
Type Sporodochail	Caractérisé par la présence de macrosporodochies massives , disposées plus ou moins on grand nombre dans un mycélium aérien assez court mais dense et d'aspect duveteux.
Type Sclérotial	Le même aspect que le type précédant mais les sporodochies sont remplacées par les sclérotés plus ou moins volumineux d'une pigmentation beige violacé à rosâtre.
Type Pionnotal	Présent un aspect luisant et humide ou crémeux, sans mycélium aérien. La couche superficielle est constituée de nombreuses microconidies. Les macroconidies sont formées en nappes sur phialides non ramifiées.
Type Duveteux	Présent un mycélium aérien assez court mais dense, portant de nombreuses microconidies. Les macroconidies et les Chlamydospores se forment tardivement.

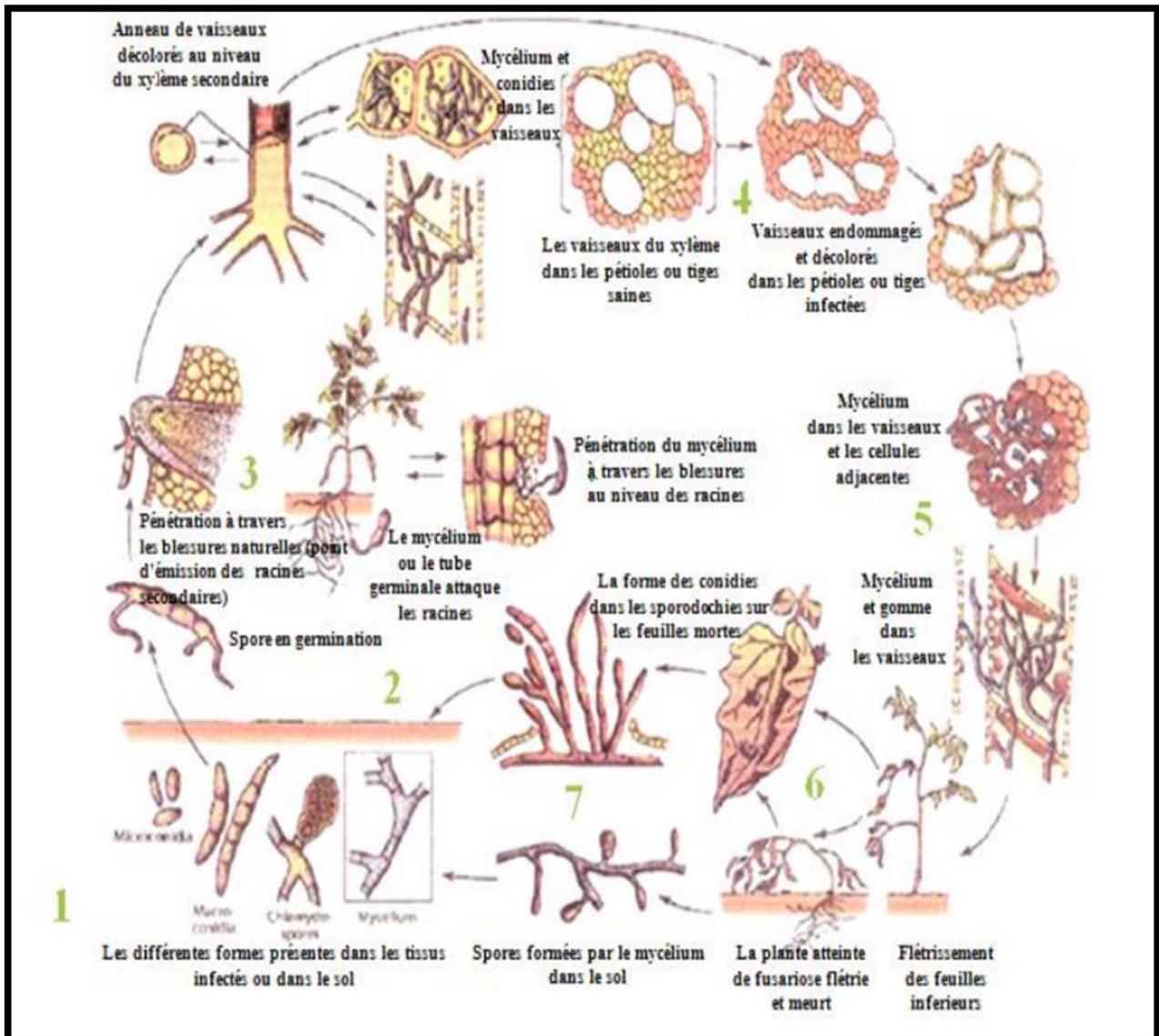
Type Cotonneux	Présent un mycélium aérien très abondant, épais et très peu de sporidies.
Type Muqueux	Ne présentent pas un mycélium aérien. Les microconidies sont abondantes, les macroconidies rares et les Chlamydo-spores abondantes mais tardives
Type Ras sénéscent	Il est caractérisé par un mycélium aérien extrêmement ras, clairsemé. Peu visqueux et par une vitesse de croissance très faible.

### 2.5. Les *Fusarium oxysporum* phytopathogènes:

Les champignons telluriques appartenant au genre *Fusarium* et plus précisément à l'espèce *oxysporum* sont les plus dommageables des cultures d'intérêt économique (Armstrong et Armstrong, 1981), d'où ils sont connus par leur haute phytopathogénicité. Elle est responsable de nombreuses maladies connues sous le nom de fusarioses (trachéomyose, nécrose, fonte de semis) (Fravel *et al.*, 2003), les *Fusarium oxysporum* possèdent une grande spécificité d'hôtes appelée *formae speciales* (Dommergues et Mangenot, 1970). Leur capacité à vivre en saprophyte lors des conditions non propices (en hiver) grâce à la formation de chlamydo-spores ou par le développement d'hyphes sur des résidus organiques (les débris végétaux) (Burgess *et al.*, 1994), lui permet d'être une source de contamination importante au champ (Schaafsma *et al.*, 2001). La dissémination des spores par le vent ou les insectes est également une autre voie de contamination (Sutton, 1982). Basées sur leur virulence sur différents cultivars d'un hôte spécifique, on distingue différentes races. Dans le cas de la plante de tomate, il existe trois races de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Mc Grath *et al.*, 1987 ; Stall, 1962) :

- La race 1, la plus cosmopolite, initialement décrite en 1886 (Booth, 1971)
- La race 2, découverte en 1945 à Ohio (Alexander et Tucker, 1945).
- La race 3, observée en Australie en 1978 (Grattidge et O'Brien, 1982) et successivement rapportée aux Etats unis: Californie (Davis *et al.*, 1988), Floride (Volin et Jones, 1982), Géorgie (Chellemi, 1992), Arkansas et Nord Carolina (Marlatt *et al.*, 1996), Tennessee (Bost, 2001) et Mexique (Valenzuela-Ureta *et al.*, 1996).

## 2.6. Le cycle de développement



**Fig.4** - Cycle de maladie de la fusariose vasculaire causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Agrios, 2005).

Le développement ultérieur des champignons de flétrissement, dans le système vasculaire, dépend de nombreux facteurs, comme la résistance de l'hôte, les conditions environnementales et la nutrition de l'hôte (Krupa et Dommergues (1979)).

- 1-Conidies, chlamydo-spores ou mycélium vivant dans le sol.
- 2-Germination des spores.
- 3-Pénétration du tube germinatif à l'intérieur des racines.
- 4-Invasion des vaisseaux par les conidies et/ou mycélium

5-Production de gomme à l'intérieur des vaisseaux.

6-Flétrissement et mort de la plante.

7-Sporodochies ou mycélium produisant des conidies.

## 2.7. La spécificité parasitaire :

Les souches pathogènes de *F. oxysporum* sont en général inféodées à une seule espèce végétale. Cette étroite spécificité d'hôte a conduit à définir les concepts de formes spéciales et des races physiologiques, critères intra spécifique, qui différencient par leur plantes hôtes des souches morphologiquement identique. Une forme spéciale rassemble des souches pathogènes d'une même espèce végétale. Par exemple, les souches appartenant aux formes spéciales *lycopersici* ou *melonis* sont responsables de la fusariose vasculaire de la tomate ou de melon, respectivement.

**Tableau 6** - Principales formes spéciales de *F. oxysporum* et leur hôtes

Champignon	Hôte
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>betae</i>	Betterave
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>cucumerinum</i>	Concombre
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>fabae</i>	Fève
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>phaseoli</i>	Haricot
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>lentis</i>	Lentille
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>melonis</i>	Melon
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>albedinis</i>	Palmier dattier
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>niveum</i>	Pastèque
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>batatas</i>	Patate douce
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>pisi</i>	Pois
<i>F.oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	tomate

## 3 - La pathologie

### 3.1. La fusariose vasculaire ou la flétrissure fusarienne de la tomate

La tomate (*Lycopersicum esculentum*) est sujette à deux maladies fusariennes :

- La flétrissure fusarienne classique (*Fusarium wilt*) causée par *Fusarium oxysporum* f. sp.*lycopersici* Snyder et Hansen.

- La pourriture des racines et du collet (*Fusarium crown and root rot*) causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* Jarvis et Shoemaker (**Katan et al., 1997**).

Ces derniers sont des champignons telluriques dotés d'une spécificité stricte d'hôtes. Ils sont capables d'envahir l'ensemble du système vasculaire de la plante provoquant ainsi son obstruction et par la suite l'affaiblissement de la plante qui finit par mourir (**Snissi et al., 2006**).

La flétrissure fusarienne présente différentes symptômes internes ou externes sur les différentes parties de la plante et pendant les différents stades de vie. La flétrissure fusarienne, est une maladie terricole qui pénètre dans la plante par les racines. Le champignon monte par les tissus ligneux et émet des toxines qui causent le jaunissement, la flétrissure puis la mort de la plante. Les tissus ligneux des tiges atteintes ont une coloration brune. Cette maladie est favorisée par une température, élevée du sol (environ 27°C). Les jeunes plants qui poussent en sol infesté peuvent contracter la maladie, sans qu'aucun symptôme n'apparaisse avant le repiquage. La maladie se transmet ainsi au champ. (**Henni, 1998**).

### **3.2. Les symptômes**

#### **3.2.1. Les symptômes externes**

La maladie évolue très rapidement, les parties des limbes touchés flétrissent comme par manque d'eau, c'est le flétrissement rapide (Quick wilt). Les feuilles asséchées gardent leur chlorophylle et apparaissent avec un aspect gris verdâtre (**Laterrot et al., 1978**). Il s'ensuit un jaunissement puis une nécrose d'une partie ou de la totalité du limbe avec des éclaircissements au niveau des nervures.

L'atteinte des feuilles se fait progressivement de bas en haut ce qui fait que les feuilles se trouvant à la base de la plante sont déjà mortes (**Messiaen, 1981 ; Gindrat, 1975**).

Il arrive fréquemment qu'un seul rameau soit atteint et ceci avant l'apparition des symptômes de la maladie sur le reste de la plante. Au niveau de la tige de la plante atteinte, apparaît une



**Fig.5** - Le caractère unilatérale de la chlorose est typique d'une maladie vasculaire



**Fig.6** - les tissus du cortex commencent à se nécroser au centre



**Fig.7** - les vaisseaux ont une coloration brun sombre (a) ,visible en coupe transversale (b).



**Fig.8** - Les tissus corticaux sont bien nécrosés et ont pris une teinte brunâtre



**Fig.9** - flétrissement des feuilles basses  
(Blancard 2013)

dépression longitudinale qui part du collet puis remonte unilatéralement. Les tissus au niveau de la dépression sont de couleur brune (**Bouhot, 1972**).

D'autres symptômes peuvent parfois apparaître à savoir :

L'inclinaison et la courbure progressive vers le sol des pétioles et des limbes (épinastie), le ralentissement de la croissance et la formation de bourrelets adventives sur la tige (**Laterrot et al., 1978**).

### **3.2.2. Les symptômes internes**

Une coupe longitudinale au niveau de la tige des plantes atteintes, présente, dans la partie ligneuse et adjacente au cortex vert, une coloration brune sombre des tissus conducteurs. Des coupes transversales laissent apparaître également des tissus bruns foncés contenant souvent des fragments mycéliens.

### **3.3. La mort de la plante :**

Naturellement une plante de tomate attaquée par *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, après les premières développement de la maladie, fini par se dessécher complètement aboutissant ainsi à la mort (**Laterrot et al., 1978**).

## **4 - Épidémiologie**

### **4.1. Conservation, sources d'inoculum**

*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* est capable de se maintenir dans les débris végétaux du sol, jusqu'à 80 cm de profondeur, pendant plus de dix ans, grâce à ses chlamydospores aux parois épaisses et résistantes. Il est doté d'aptitudes à la vie saprophytique qui lui permettant de coloniser et de survivre sur divers composés organiques. D'autres plantes sont susceptibles de l'héberger, en particulier plusieurs autres espèces de *Lycopersicon*.

### **4.2. Pénétration et invasion**

Après germination de ses chlamydospores, ce *Fusarium* pénètre dans la plante soit par des blessures naturelles, comme celles qui sont présentes au niveau du point d'émission des racines secondaires, soit via diverses blessures. Une fois en place, son mycélium chemine entre les cellules du cortex et gagne les vaisseaux du xylème et les envahit. Comme dans le cas de la verticilliose, les plantes peuvent réagir à cet envahissement vasculaire en formant de

la gomme ou des thylles qui empêchent sa progression, mais qui contribuent aussi à faire flétrir les plantes.

#### 4.3. Sporulation et dissémination

Ce champignon produit des chlamydo-spores, des microconidies, voire des macroconidies, dans les vaisseaux et sur les tissus colonisés et altérés. Il peut être disséminé sur des distances plus importantes par l'intermédiaire des semences et des plants contaminés, par les substrats, l'eau, par les engins aratoires circulant d'une parcelle à une autre et dont les pneus sont chargés de particules de sol et de débris végétaux. Les poussières de sol contenant des chlamydo-spores sont aisément disséminées par les courants d'air ainsi que par les éclaboussures d'eau.

### 5 - Les substances synthétisées par le parasite

Deux substances importantes sont synthétisées : les toxines et les enzymes hydrolytiques.

#### 5.1. Les toxines

Les champignons du genre *Fusarium* sont connus pour leur aptitude à synthétiser certaines toxines, parmi elles, on distingue les lycomarasmines et les acides fusariques (Gaumann, 1958 ; Tzeng et Devay, 1985). Ces toxines augmentent la perméabilité cellulaire et provoquent une importante transpiration des plantes atteintes (Corbaz, 1990).

#### 5.2. Les enzymes hydrolytiques

Les symptômes de brunissement et d'obstruction des vaisseaux conducteurs ont été reproduits pour la première fois par Gothoskar et Sheffer, (1953), en trempant des plantules, dont les racines ont été sectionnées, dans des solutions contenant des enzymes pectiques du commerce.

Sachant que la paroi des cellules végétales est formée essentiellement de substances pecto-cellulosiques, le parasite s'attaque à cette dernière en utilisant ces deux enzymes : la pectine méthyle estérase (PME) qui hydrolyse les groupements méthyle de la pectine et les polygalacturonases (PG) qui hydrolysent les liaisons glucosidiques.

Une activité cellulolytique a été également observée chez le parasite. Hussain et Dimond, (1960) ont constaté la production de cellulase sur des tiges de tomates infectées (Henni, 1998).

## 6 - Les mécanismes de défense

La plante atteinte développe une série de barrières mécaniques et biochimiques pour lutter contre le parasite (**Beckman, 1988**).

### 6.1. Les barrières mécaniques

Quand le parasite pénètre par les racines, un brunissement de quelques cellules du parenchyme ligneux, voisin de la partie du vaisseau infecté, apparaît. Cette réaction est suivie par la formation de thylls, sécrétion gommeuse permettant à la plante d'isoler l'agent pathogène en obstruant le vaisseau envahi avant que le filament mycélien ne produise des conidies.

Si cette réaction tarde à venir, l'infection par les conidies se généralise et se propage à plusieurs vaisseaux entraînant la mort de la plante par gommose, thyllose, et hyperauxinie générale. Les symptômes externes de la maladie reflètent le degré de l'invasion des vaisseaux vasculaires par les filaments mycéliens (**El Mahjoub, 1984**).

### 6.2. Les barrières biochimiques

Deux substances biochimiques sont élaborées par la plante dès l'attaque du parasite (**Henni, 1998**).

#### 6.2.1. Les polyphénoloxydases

Ce sont des enzymes à base de cuivre, elles sont activées en cas de blessures et interviennent dans l'oxydation des composés phénoliques de la plante et contribuent avec les cellules du parenchyme à la formation des thylls (**Messiaen, 1981**).

#### 6.2.2. Les phytoalexines

Elles sont considérées comme des antibiotiques, leur rôle est de freiner la progression du parasite à l'intérieur des vaisseaux. **Ride et Drysdale, (1971)** indiquent que dans le cas d'infection d'une plante de tomate, une relation s'établit dès les premiers jours de l'agression entre la concentration de la tomatine (substance inhibitrice) et le blocage de l'agent pathogène (**Henni, 1997**).

## 7. Méthodes et moyens de lutte

### 7-1- La lutte culturale

Les mesures préventives contre la flétrissure fusarienne consistent à éviter les conditions qui favorisent la maladie soit : un sol léger et acide, un manque d'azote et de calcium, des

températures élevées (l'optimum pour le développement du *F.o.l* est 28°C) et un manque de lumière en intensité et en temps. **Barna (1985)** souligne l'importance de maintenir une fertilisation azotée élevée surtout sous forme de nitrate (fumier) à fin de produire beaucoup de pousses jeunes. La méthode de prévention la plus courante est de chauler afin de maintenir le ph entre 6,4 et 7.0 (**Scott, 1923**)

### 7-2- La lutte génétique

La lutte génétique exploite la diversité phytogénétique afin de cerner la maladie et peupler les zones dévastées. Cette technique consiste à introduire des gènes de résistance au niveau des plantes appelées plantes transgéniques. Ces gènes produisent des protéines susceptibles d'éliminer le parasite. Mais cette technique fut inefficace car il y a eu l'apparition de nouvelles races plus virulentes du parasite (**Henni, 1998**).

### 7-3-La lutte agronomique

Elle est considérée comme la plus pratique ; elle consiste à arrêter la culture de la plante qui héberge le *Fusarium* et ceci pendant plusieurs années, ainsi l'arrêt de l'exploitation de champs garantit la disposition des chlamydospores(**Smahi Asma,2008** ).

### 7-4-La lutte intégrée

C'est la combinaison de toutes les méthodes précédentes pour lutter contre les phytopathogènes à longue durée. Ces méthodes ne peuvent émerger que d'une meilleure connaissance des mécanismes fondamentaux qui sont à la base des interactions entre les plantes et leurs agents pathogènes (**Corbaz,1990**).

### 7-5-La lutte physique

Anchisi *et al.* (1985) ont développé un traitement à l'eau chaude pour protéger les plantes dans un sol où l'on sait la présence de la maladie. La méthode consiste à traiter les racines avec de l'eau à 48-49°C pendant 30 secondes avant de les transplanter ou moins 48h après. Cela stimule la croissance des racines. La taille des racines amène aussi une protection contre la fusariose pour la même raison. La stérilisation ou la solarisation ne sont pas des solutions à long terme (**Corbaz, 1990**).

### 7-6-La lutte chimique

Elle est efficace contre la Fusariose, mais présente beaucoup d'effets néfastes. Cette lutte se fait par une désinfection du sol en utilisant des fongicides afin d'éliminer le maximum de

plantes maladies, les résidus de culture et une désinfection des plantes pour éliminer les transporteurs des maladies(Touze et al en 1979).

#### **7-7-La lutte biologique**

Plusieurs chercheurs se sont intéressés aux micro organisation tel que les bactéries et les champignons dans l'espoir de mettre au point un procédé de lutte efficace capable de limiter la gravité des *Fusaria* (Alabouvette *et al.*, 1986). Parmi ces bactéries on site les *Pseudomonas fluorescens* et *Serratia marcescens* et parmi les champignons il existe les *Fusaria* non pathogène et *Trichoderma harzianum*.