

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique**



**Université de BLIDA-1**

Faculté des Sciences De La Nature et De La Vie

Département de biotechnologie

**Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master En Biologie**

**Option :**

**BIOTECHNOLOGIE MICROBIENNE**

**Thème :**

**Etude épidémiologique de la fusariose  
vasculaire sur petit pois**

**Présenté par :**

Melle BEN SLAIM Fouzia

Devant le jury :

**Promoteur : BENSAID.F**

**USDB1**

**MAA**

**Présidente : AMMEDE.F**

**USDB1**

**MCA**

**Examineur : BENKORTBEY .H**

**USDB1**

**MAA**

**Promotion : 2019/2020**

## **Remerciements**

*Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance à tous les membres de ce jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.*

*Que Mme **Benkorteby .H**, trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour l'honneur qu'elle me fait en président ce jury, et pour sa douceur lors des cours donnés.*

*Je suis très heureuse de compter dans ce jury, **Mme AMMAD .F.** qui me fait l'honneur de juger ce travail. Ses remarques me seront certainement profitables et enrichissantes.*

*Au même titre je voudrai remercier **Mme BENS Aid/F**, ma promotrice qu'elle trouve ici l'expression de mon profond respect pour leurs confiance en moi, leurs soutien, leurs patience, et leurs encouragement pour mener à bien ce travail, sans oublier les valeurs de travail, de rigueur et de valeurs humaine qu'elle m'a pu me transmettre. Elle a su me donner confiance en mes compétences*

*Mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation pour m'avoir transmis l'amour de la recherche scientifique.*

*Aux **Etudiants de ma promotion**, je leurs dis merci pour les moments de joies et de stress passés ensemble.*

## 🌀 DÉDICACE 🌀

*Avant tout je remercier **ALLAH** pour les tout, la santé le Savoir et la patience...*

*J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail à...*

*Ma mère, qui a œuvée ma réussite, de par son amour, son soutien tous les sacrifices consentis et ces précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. Que dieu la procure bonne santé et longue vie*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider dans la vie.*

*Puisse **Dieu** faire en sorte que travail porte son fruit .Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien Permanent venu de toi.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidée tan courage, qui étaient toujours mes cotes mes cher est  
antes :*

*MELEZI Fatima, BENTOUMI Asma*

## **Résumé**

Le petit pois (*Pisum sativum*) est l'une des légumineuses les plus importantes dans le monde. En Algérie, les rendements de cette culture restent très faibles en raison des contraintes d'ordre biotiques et abiotiques. La fusariose vasculaire est une contrainte biotique causée par *Fusarium oxysporum f.sp. pisi*. Qui engendre des dégâts très important.

La protection des cultures de pois repose sur plusieurs éléments importants (éléments biologique et chimique).

**Mots clés :** *Fusarium oxysporum f.sp. pisi* ; Petit pois, La fusariose vasculaire, *Pisum sativum*

**Summary:**

*Pisum sativum* is one of the most important legumes in the world. In Algeria, the yields of this crop remain very low due to biotic and abiotic constraints. Vascular fusarium wilt is a biotic strain caused by *Fusarium oxysporum f.sp. pisi*, which causes very significant damage.

The protection of pea crops is based on several important elements (biological and chemical elements).

**Key words:** *Pisum sativum*; *Fusarium oxysporum f.sp. pisi*.

## التلخيص

البازلاء من أحد أهم البقوليات في العالم ، لا تزال غلة هذا المحصول منخفضة في الجزائر للغاية بسبب القيود الحيوية وغير الحيوية ويعتبر Fusariose vasculaire من القيود الحيوية الذي يسببه *Fusarium oxysporum* (f.sp. pisi فطريات)

تعتمد حماية محاصيل البازلاء على عدة عناصر مهمة منها عناصر بيولوجية وكيميائية.

الكلمات المفتاحية: البازلاء *Fusarium oxysporum f.sp. pisi* Fusariose vasculaire

## **Liste d'abréviation**

**FAO:** Food and Agriculture Organization of the United Nations

**FO:** Fusarium oxysporum

**FOP:** Fusarium oxysporum f.sp.pisi

**f. sp.** Forme spéciale

**ssp.** Sous espèce

## *Liste des figures*

<b>Figure 01. Anatomie d'une plante du pois .....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 02 .Evolution de la superficie, production et rendement de Pois sec en Algérie entre 2002-2012 .....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 03. Evolution de la superficie, production et rendement de Pois frais en Algérie entre 2002-2012 .....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 04. Symptômes de la fusariose vasculaire de petit pois.....</b>	<b>10</b>
<b>Figure 05. Caractéristiques morphologiques de Fusarium oxysporum.....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 06. Cycle infectieux de Fusarium oxysporum.....</b>	<b>13</b>



## Liste des tableaux

<b>Les principales maladies fongiques et bactériennes du pois (EPPO ,1994).....</b>	<b>10</b>
---	-----------



## Sommaire

Introduction général .....	1
Chapitre1 Généralité sur petit pois .....	3
1.1 Origine et historique de petit pois.....	3
1.2 BIOLOGIE	
1.2.1 Position systématique.....	3
1.2.2 Phénologie.....	4
1.3 Situation du Pois en Algérie .....	5
1.4 Intérêt de la culture de petit pois.....	6
1.5 Facteurs limitant la production du petit pois .....	7
<b>1.5.1</b> Stress abiotiques.....	7
<b>1.5.1.1</b> Le froids .....	7
<b>1.5.1.2</b> Température haute .....	8
<b>1.5.1.3</b> La sécheresse.....	8
<b>1.5.1.4</b> La salinité.....	8
<b>1.5.2</b> Stress biotiques .....	8
<b>1.5.2.1</b> Ravageurs et parasites .....	8
<b>1.5.2.2</b> Principales maladies bactériennes et virales .....	9
<b>1.5.2.3 Principales maladies fongiques.....</b>	
Chapitre 02 Fusariose vasculaire du pois.....	10
2.1 Symptomatologie.....	11
2.2 l'Agent causal <i>Fusarium oxysporum f.sp. pisi</i> .....	12
2.2.2 Caractéristiques morphologiques .....	12

2.2.1 Taxonomie	
2.2.3 Les races.....	14
2.3 Cycle épidémiologique de <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lisi</i> .....	15
2.4 METHODES DE LUTTE.....	16
2.4.1 Lutte culturale.....	16
2.4.2 Lutte biologique.....	17
2.4.3 Lutte génétique.....	17
CONCLUSION.....	19
Référence bibliographique.....	20

## Introduction générale

Les légumineuses alimentaire représente de part la superficie qu'elles occupent, une place importante dans la système agraire et l'agroéconomie de nombreux pays du monde, en raison des caractéristiques biologique des racines dans la fixation de l'azote atmosphérique par les nodosités bactériennes (Bacha et Ounane . 2003) et leurs capacité d'adaptation à des condition pédoclimatiques difficiles ,ainsi que leur faible exigence culturelle .Elles offrent un apport en protéines végétales pour l'alimentation humaine et animale et constituent un excellent précédent cultural dans les systèmes de production céréalière.

Le petit pois (*Pisum sativum L.*) est une plante agronomique importante dans le monde et considéré comme la deuxième légumineuse la plus cultivées dans le monde (FAOSTAT, 2013). Il est caractérisé par sa capacité a l'adaptation à la fois aux régions chaudes de la Méditerranée et aux régions tempérées

Cette culture est sujette à des contraintes biotiques et abiotiques (Ammamra, 2002). La culture est attaquée à la fois par des microorganismes du sol qui provoquent des maladies fongiques

La fusariose vasculaire, causée par *F. oxysporum f. sp. pisi*, est l'une des maladies importantes du petit pois, qui a été rapportée dans tous les pays où le pois est cultivé (Kraft et Pflieger, 2001). Ce pathogène tellurique peut survivre sous forme de chlamydospores à parois épaisses, conservant sa viabilité dans le sol, pendant plus de 10 ans (Kraft, 1994).les symptômes de cette maladie sont : l'éclaircissement des nervures, l'enroulement des feuilles, le flétrissement, le jaunissement, les nécroses puis la mort de la plante (MacHardy et Beckman, 1983).

Plusieurs moyens de lutte sont utilisés pour lutter contre cette maladie. Le moyen de lutte le plus intéressent contre cette maladie reste l'utilisation de cultivars résistants

Ce travail vise à étudier cette maladie .Il contient 2 chapitre :

Chapitre I : généralité sur petit pois

Chapitre II : généralité sur fusariose vasculaire

# **Chapitre 1**

## **Généralité sur le petit pois**

## 1.1 Origine et historique de petit pois

Le petit pois (*Pisum sativum L.*) est une plante agronomique très appréciée dans le monde, elle a servi comme un excellent sujet pour les études génétiques et physiologiques, son cycle biologique court et la richesse de sa variation morphologique ont servi à de nombreuses recherches scientifiques.

L'origine et les ancêtres de *Pisum sativum* sont mal connus. La région méditerranéenne, l'Asie centrale et occidentale et l'Ethiopie ont été envisagées comme centres d'origine. La FAO a désigné l'Ethiopie et l'Asie occidentale comme centres de diversité, avec des centres secondaires dans le sud de l'Asie et la région méditerranéenne (**Cousin et Bannerot , 1992 ; Brink et Belay , 2006**).

Le petit pois est une plante très anciennement cultivée dans l'Ancien monde, puisque sa culture a vraisemblablement commencé il y a environ 8 000 ans dans la région du Croissant fertile, dans le même processus que certaines céréales (blé, orge) et d'autres légumineuses (vesce, lentille). Ils ont été découverts dans des sites archéologiques du Néolithique de la Grèce à l'Irak entre 7 500 et 5 000 ans avant Jésus-Christ, des restes provenant soit de plantes de cueillette, soit de plantes domestiquées. Par la suite, sa culture s'est diffusée vers l'ouest (Europe) et vers l'est (Inde). On en trouve trace notamment dans le site archéologique de Troie, en Europe centrale (vers -4 000 ans), en Europe occidentale et en Inde (vers -2 000 ans) (**Cousin et Bannerot**).

## 1.2 BIOLOGIE

### 1.2.1 Position systématique

La classification botanique de cette plante peut être résumée de la façon suivante (Coussin, 1974).

Règne :	Végétal
Embranchement	des Spermaphytes
Sous embranchement	des Angiospermes
Classe	des Dicotylédones,
Ordre	des Fabales
Famille	Fabaceae

. Tous les taxons de *Pisum* sont diploïdes ( $2n=14$ ) et la majorité sont inter-croisables et peuvent produire des hybrides viables (Redden et al, 2005).

### **1.2.2 Phénologie**

Le petit Pois est une plante grimpante herbacée annuelle, autogame, de hauteur variable allant de 0,5 à 2 mètres (Figure.1).

La morphologie générale du Pois est décrite dans la figure 1. La croissance de la tige est plus ou moins indéterminée (Coussin, 1997).

Le système racinaire est de type pivotant, pouvant atteindre une profondeur d'un mètre dans des conditions de sol favorables, mais cependant très ramifié, surtout dans la couche superficielle du sol. Les radicelles de 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ordre portent des nodosités (Carrouee et Girad, 1994).

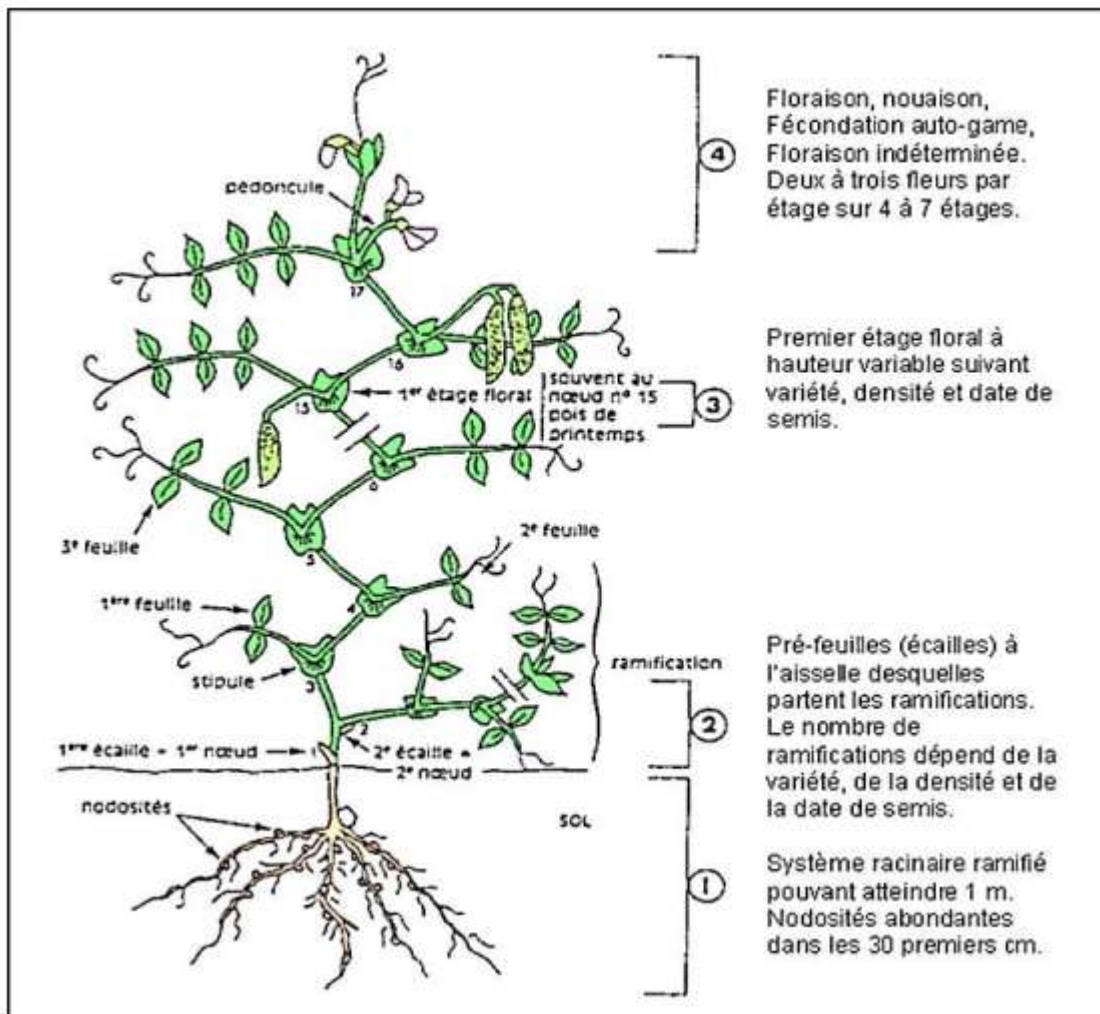
La tige, peu ramifiée, de longueur variant de 50 cm à 1,5 m, voire jusqu'à deux mètres, est à croissance indéterminée. Elle est creuse, de section cylindrique, et grimpe en s'accrochant aux supports par les vrilles des feuilles. Elle se caractérise par un certain nombre de nœuds, ou mailles, dont les premiers sont purement végétatifs (émettant des feuilles ou des ramifications) et les suivants reproducteurs (portant des fleurs). (Carrouee et Girad, 1994).

Les feuilles alternes, sont composées d'une à quatre paires de folioles sessiles, opposées et terminées par une vrille simple ou ramifiée. Elles possèdent à leur base deux grandes stipules arrondies et crénelées à la base, souvent plus grandes que les folioles, et peuvent atteindre 10 cm de long. Certaines variétés ont des stipules allongées caractéristiques. Les deux premières feuilles primordiales sont réduites à des écailles (Geves, 1995).

Les Fleurs blanches ou violettes

Le fruit est une gousse déhiscence bivalve, appelée aussi cosse, de 4 à 15 cm de long, contenant de 2 à 10 graines rondes lisses ou anguleuses, de 5 à 8 mm de diamètre. Ces gousses présentent des variations morphologiques selon les variétés





**Figure 1. Anatomie d'une plante du pois (Boyeldieu, 1991).**

### 1.3 Situation du Pois en Algérie

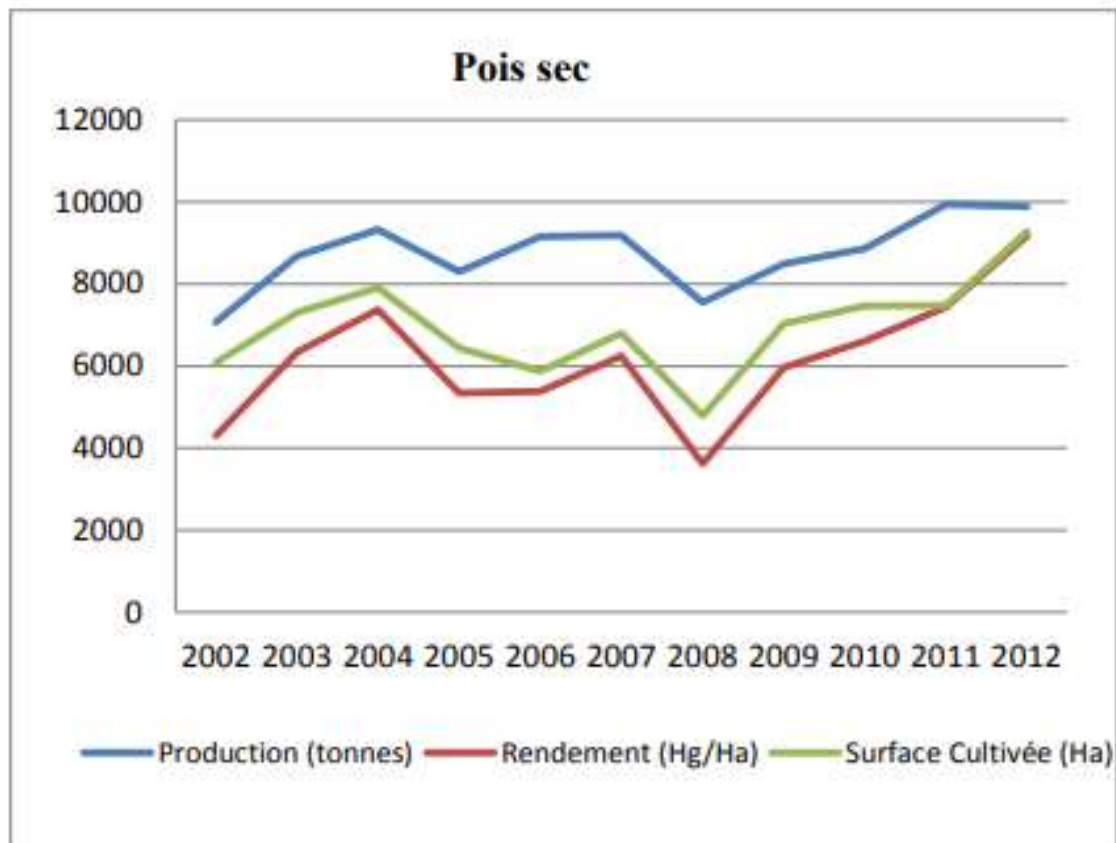
En Algérie, le petit Pois a été cultivé avant 1830 dans les jardins et les champs en Kabylie (Laumont et chevassus, 1960). Le Pois est répandu sur tout le territoire national. Il est surtout cultivé sur les plaines côtières et les zones sublittoral. Il occupe la 3ème place parmi les légumes secs (Maatougui, 1996). La culture a pris un développement important en 1945,

En 1980, 10800 ha ont été consacrés à cette culture. En 2011, la culture du petit pois frais s'étendait sur 32 641 hectares avec une production de 127 680 tonnes (FAOSTAT, 2011).

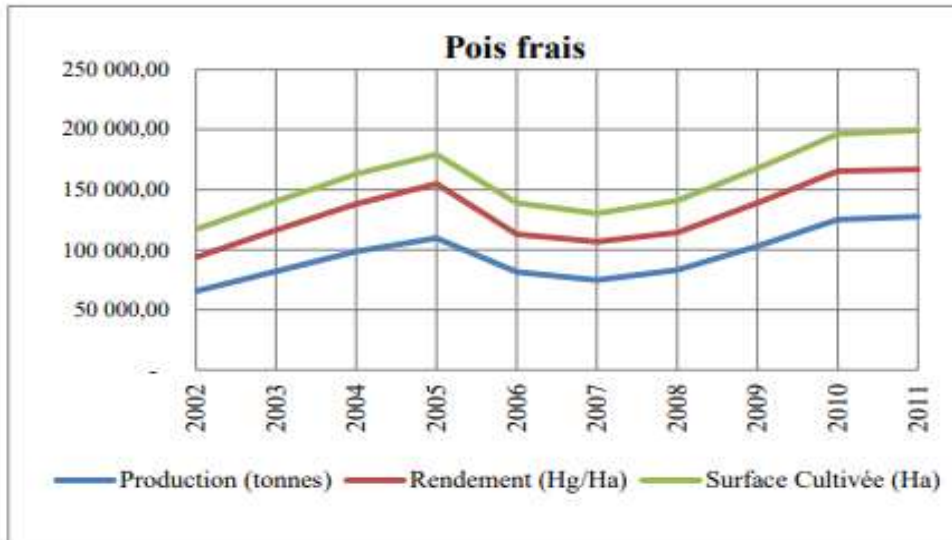
En 2012, le Pois sec a enregistré la superficie la plus importante avec 9279.14 ha avec un rendement 743.5 kg/ha qui demeurent très faible par rapport au rendement moyen dans le monde.

En ce qui concerne le petit pois frais, l'Algérie se classe parmi les 10 premiers pays producteurs du monde avec une production de 127680 tonnes et un rendement de 3911.64kg/ha pour l'année 2011(Fig.2 et3) (FAO, 2013).

Parmi les variétés cultivées en Algérie : Onward, Parel, Triphin, Latcha (variété locale), Merveille de Kelvedon, Douce de province et serpette (Meklati, 1992).



**Figure.2 : Evolution de la superficie, production et rendement de Pois sec en Algérie entre 2002-2012 (FAO, 2013).**



**Figure.3 : Evolution de la superficie, production et rendement de Pois frais en Algérie entre 2002-2012 (FAO, 2013).**

#### 1.4 Intérêt du Pois

Le petit Pois présente des avantages sur le plan agronomique, nutritionnel et écologique.

Du point de vue agronomique et écologique, le Pois est considéré comme très bonne tête de rotation, il laisse un sol enrichi en azote de 30 à 50 Kg/ha (Boyeldiou, 1991).

Sa capacité de fixer l'azote atmosphérique par le truchement des Azotobacters du système racinaire, permet de réduire le coût de production, et de limiter la pollution des nappes phréatiques par les engrais azorés (Androsoff et *al.*, 1995).

Du point de vue nutritionnel, dans l'alimentation humaine, le Pois peut être consommé à l'état frais ou encore sous forme de grains secs récoltés à maturité complète. Richesse du Pois en protéines. Contient de l'amidon digestible (50%), des sucres solubles (5%), fibres, minéraux et vitamines. Ils contiennent également un assortiment unique de phyto-nutriments bénéfiques pour la santé, Un de ces phyto-nutriments un polyphénol appelé coumestrol est venu récemment à la pointe de la recherche en matière de protection contre le cancer de l'estomac (Hernandez-Ramirez et *al.*, 2009).

## **1.5 Facteurs limitant la production des petits pois**

La production des petits pois et leurs rendement est grandement réduit et limitée par un grand nombre de maladies, ravageurs et stress abiotiques (Miguel et *al.*, 2006).

### **1.5.3 Stress abiotiques**

Un ensemble des caractéristiques physico-chimiques du milieu tel que le froid, la sécheresse et les déficits nutritionnels affectent la production du petits pois

#### **1.5.1.1 Le froid**

La plupart des cultivars de pois sont très susceptibles au froid et particulièrement les lignées caractérisées par des entre-nœuds longs, d'une grande surface foliaire et des graines ridées (Cousin, 1997).

#### **1.5.1.2 Température élevée**

Les températures élevées apparaissent ensemble dans plusieurs régions de production de légumineuses, dont les deux types de stress peuvent interagir pour réduire les rendements (Rubiales et al, 2012).

#### **1.5.1.3 La sécheresse**

La sécheresse et le deuxième stress abiotique le plus important pour le pois. Elle peut arrêter la fixation de l'azote et diminuer la production de biomasse (Cousin, 1997).

#### **1.5.1.4 La salinité**

Le pois est modérément sensible aux désordres nutritionnels. Des niveaux critiques du sel ont été établis pour identifier les déterminants génétiques de tolérance au sel chez le pois La fixation de l'azote symbiotique est notamment sensible à la salinité élevée (Saxena, 1993).

## 1.5.2 Stress biotiques

Résultant de l'action néfaste d'un organisme vivant sur un autre organisme vivant telle qu'une attaque d'un pathogène. La culture de Pois est soumise à la pression constante de certains agents pathogènes d'origine fongique, bactérienne, virale et des ravageurs.

### 1.5.2.1 Ravageurs et parasites

Les insectes comme les pucerons, les thrips et le charançon (*Bruchus pisorum*) sont les principaux ravageurs qui peuvent endommager le pois cultivé cause des pertes importantes aux pois destinés au marché des produits frais et du surgelé, ainsi qu'aux pois secs. Sans oublier les nématodes tels que *Meloidogyne hapla* et *Ditylenchus dipsaci*.

*Orobanche crenata*, espèce parasite non chlorophyllienne des racines d'angiospermes qui dépend totalement de son hôte pour son approvisionnement en éléments nutritifs constitue une contrainte importante pour la production de pois en hiver dans les pays asiatiques et méditerranéens (Rubiales et al. 2009).

### 1.5.2.2 Principales maladies bactériennes et virales

Les bactérioses les plus redoutables du pois sont la brûlure bactérienne causée par *Pseudomonas syringae pv. pisi*, qui provoque des pertes économiques en printemps et l'été, et la maladie des taches brunes causée par *Pseudomonas syringae pv. Syringae* (Cousin, 1997).

Il y a plus de 50 virus connus pouvant infecter le pois, le plus important parmi eux est le virus de la mosaïque du pois (PSbMV : Pea Seed borne Mosaic Virus). La maladie s'est également transmise par les pucerons Il existe d'autre virus qui endommage les petits pois tel que :

- ❖ le virus de l'enroulement des feuilles du pois (PLRV : Potato Leaf Roll Virus)
- ❖ le virus de la mosaïque et d'énation du pois (PEMV : Pea Enation Mosaic Virus)
- ❖ le virus de brunissement précoce de pois

### 1.5.2.3 Principales maladies fongiques

La culture de Pois est attaquée par plusieurs maladies fongiques dans le monde (Tab.1-1). En Algérie, les travaux de prospection réalisés ces dernières années, ont montré l'existence de plusieurs maladies fongiques : l'oïdium, l'antracnose sont les plus importantes, suivie de flétrissement

vasculaire, le mildiou et la nécrose du collet due à *Rhizoctonia solani* ou *Fusarium solani*, ces maladies sont considérées comme étant les plus économiquement importantes (Bouznad, 1987 ; Setti et al.2009, Merzoug *et al.*, 2009).

**Principales maladies fongiques et bactériennes du Pois (EPPO, 1994).**

Maladies	Agents pathogènes	Symptomatologie	Moyens de lutte
Ascochyteses	<p><i>Aschochyta pisi</i></p> <p><i>Mycosphaerella pinodes</i></p> <p><i>Phoma medicaqinis var. pinodella</i></p>	<p>-Des lésions circulaires de couleur brune rousses, et concaves nettement séparées des tissus sains. Au centre, présence de pycnides</p> <p>-Un grand nombre de petites taches brunes foncées ou violettes Ces taches peuvent devenir des petites zones imbibées d'eau sur les parties aériennes des plantes qui peuvent grossir, fusionner et détruire entièrement les parties atteintes de la plante</p> <p>-Des lésions très similaires à celles de M. pinodes, mais les taches ne deviennent pas aqueuses.</p>	<p>-Utilisation de semences saines</p> <p>-Traitements de semences: thirame, thiabendazole. - Rotation culturale</p> <p>-Pulvérisations: carbendazime, chlorothalonil, iprodione.</p>
Mildiou	<i>Peronospora pisi</i>	-Plantules touchées, sont chétives et de couleur vertejaunâtre. la face inférieure des folioles est couverte d'un feutrage épais, dont la couleur va du blanc teinté.	<p>- Traitements des semences</p> <p>- Il faut éviter de cultiver fréquemment du pois et de semer des semences traitées</p>

Oïdium	<u><i>Erysiphe pisi</i></u> ou <u><i>polygonie</i></u>	Les feuilles apparues bleutées avec de petits cléistothèces noirs sur les lésions matures.	- Utilisation de cultivars résistants  - Semis précoce
Sclerotiniose	<u><i>Sclerotinia</i></u> <u><i>sclerotiorum</i></u>	-Présence de nécroses humides sur feuilles et tiges, les tissus infectés se dessèchent et se boursouflent. Il peut y avoir un mycélium blanc abondant sur la plante	- la rotation culturale -  Eviter la culture fréquente d'hôtes sensibles  -Un labour profond peut aider à réduire le nombre de sclérotés
Fusariose	<u><i>Fusarium</i></u> <u><i>oxysporum f.sp.</i></u> <u><i>pisii</i></u>  <u><i>Fusarium solani</i></u> <u><i>f.sp. pisii</i></u>	Flétrissement vasculaire  Fusariose de pied ou pourriture de collet et des racines.	- La résistance génétique est la seule mesure de lutte efficace  - un semis précoce  -Rotation d'au moins 5 ans  -Traitements des semences
Pourriture des racines	<u><i>Pythium spp.</i></u>	-Une pourriture molle humide entraînant l'abscission des racines à partir des premiers stades de la levée.	- Les traitements fongicides des semences
Graisse bactérienne de Poi	<u><i>Pseudomonas</i></u> <u><i>syringae pv pisi</i></u>	-Lésions graisseuses, sur les tiges, les feuilles, les stipules et les gousses qui brunissent par la suite et se nécrosent.	-Utilisation de de semences certifiées  - Rotation d'au moins 3 ans

## **Chapitre 02**

# **Fusariose vasculaire du pois**



## **Fusariose vasculaire du pois**

La Fusariose du petit pois a été signalée en Europe au début des années 1900, bien que plusieurs noms différents aient été utilisés pour l'agent pathogène (Buxton, 1957). Elle est distinguée de la pourriture racinaire par Jones et Linford (1925) qui l'ont appelée « la maladie du flétrissement méconnu ». En 1916-17 une maladie de pois décrite comme la fusariose s'est produite dans le Minnesota, États-Unis.

La fusariose vasculaire est une maladie commune de flétrissement fongique, causée par l'agent pathogène «*Fusarium oxysporum*», elle représente un facteur limitant majeur dans la production de nombreuses cultures agricoles et horticoles, tel que le pois, le palmier dattier, le lin, la tomate, le coton...etc. (Mac Hardy et Beckman, 1981).

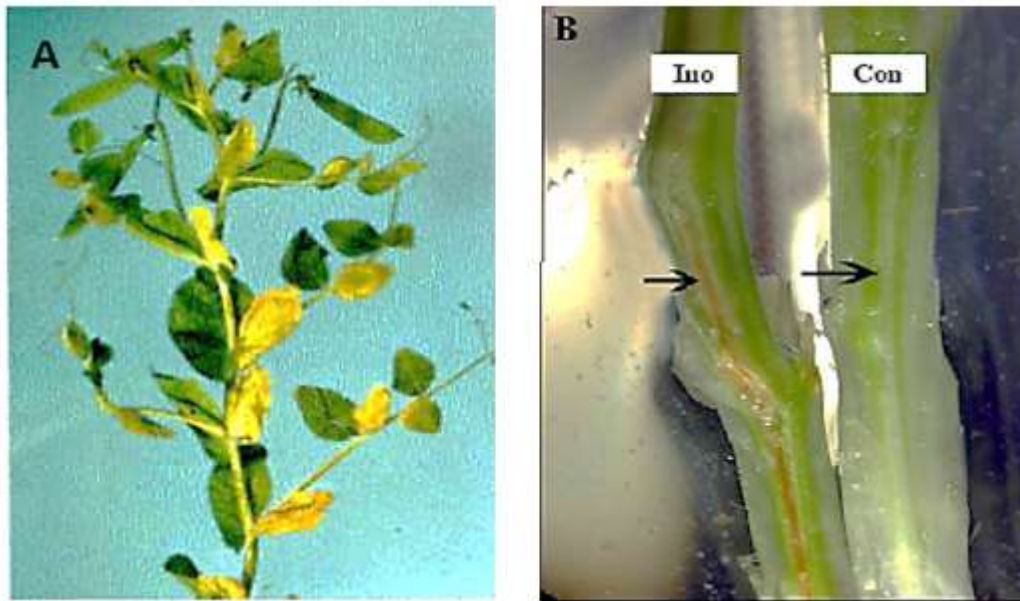
*F. oxysporum f. sp. pisi* est un pathogène important et destructeur de Pois. Il a été signalé dans tous les pays où le Pois est cultivé (Kraft et Pflieger, 2001).

### **2.1 Symptomatologie**

Les fusarioses vasculaires sont parmi les maladies les plus graves et les plus fréquentes, dont les symptômes sont divers et peuvent toucher l'ensemble de la plante à n'importe quel stade de sa croissance

*F. oxysporum f. sp. pisi* provoquent l'enroulement des feuilles et des stipules vers le bas, l'épaississement de l'entre-nœud basal, le jaunissement et les nécroses des feuilles et des tiges deviennent plus fragiles (Fig.4). Les racines semblent ne pas être atteintes mais une coupe longitudinale de la tige met en évidence une coloration anormale (brunissement), qui progresse dans le tissu vasculaire à partir de la racine jusqu'à la tige (Bencheima, 1991).

La fusariose se développe rapidement entraînant la mort des plantes (Bani, 2015).



**Figure 4. Symptômes de la fusariose vasculaire de petit pois (Hagedorn, 1991 ; Bani, 2015).**

(A) jaunissement unilatéral des feuilles, (B) Coloration des tissus vasculaire.

## 2.2 Agent causale *Fusarium oxysporum f.sp. pisi*

### 2.2.1 Taxonomie

Le genre *Fusarium* a été profondément revu par Synder et Hansen (1940, 1945), Tousson et Nelson (1968, 1976) et Messiaen et Cassini (1968, 1981).

*Fusarium oxysporum f. sp. pisi* est un des Deutéromycètes telluriques appartenant à la sous-classe des Hyphomycètes et à la famille des Tuberculariacées, il fait partie de la section Elegans (Messiaen et Cassini, 1968 ; Booth, 1971 ; Nelson et al. 1983 ; Agriose, 2005).

*Fusarium* est considéré comme l'un des genres les plus adaptables et les plus maniables des Eumycota. Une de ses espèces économiquement plus importantes est *Fusarium oxysporum* qui est composée de souches pathogènes et non pathogènes (Gordon et Martyn, 1997).

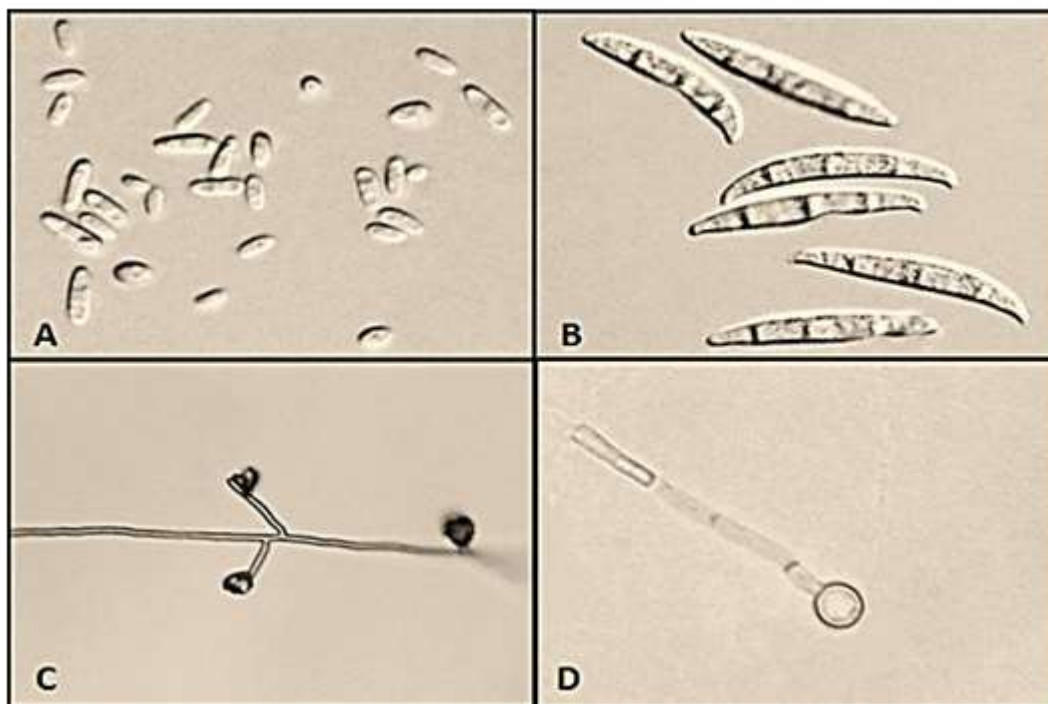
Grâce à l'utilisation des techniques de la biologie moléculaire, la systématique des *Fusarium* a considérablement évolué (Di Pietro et al. 2003 ; Michielse et Rep, 2009).

Régne	Fungi
Division	Ascomycota
Classe	Hymenoascomycètes
Sous-classe	Pyrenomycetideae
Ordre	Hypocreales
Famille	Nectriaceae
Genre	Fusarium
Espèce	F. oxysporum

### 2.2.2 Caractéristiques morphologiques

La taxonomie morphologique des espèces du genre *Fusarium* est basée principalement sur la structure et l'abondance des formes de reproduction asexuée (chlamydospores, phialides, microconidies et macroconidies) et sur des caractéristiques culturales (texture de colonie, couleur et arôme de la culture) (Fourie et al., 2011). sur les caractéristiques biométriques, sur des spores (taille, forme, cloisonnement, etc...), sur les organes fructifères qui leur donnent éventuellement naissance (sporodochies et pionnotes), et enfin, sur la présence ou l'absence de sclérotés (Henni et al., 1994).

*Fusarium oxysporum* est caractérisé par des microconidies non-cloisonnées formées dans des monophialides courts, des macroconidies à 3 cloisons formées à partir des monophialides sur des conidiophores embranchés dans 16 des sporodochia, et des chlamydospores à paroi lisse ou rugueuse formées séparément ou en paires (Figure5) (Fourie et al. 2011).



**Figure.5. Caractéristiques morphologiques de *Fusarium oxysporum* (Fourie et al. 2011).**

A) Microconidies; (B) macroconidies; (C) microconidies germées sur des monophialides; et (D) chlamydospore.

### 2.2.3 Les races

*Fusarium oxysporum f. sp. pisi* est connu pour sa variabilité pathogénique (Kraft, 1995). L'agent pathogène a été nommé *F. othoceras* var. *pisii* en 1928 (Linford, 1928).

Depuis lors, les problèmes causés par la race 1 de Fop n'ont pas éliminés, mais la maladie est maîtrisée par les cultivars résistants (Kraft et al, 1974).

La race 2 est connue pour être répandue dans les sols à texture grossière et lorsque les températures avoisinent les 25 °C. Comme, elle n'apparaît généralement qu'en fin de cycle, proche de la maturité des plantes, la probabilité de transmission par semences devient importante.

Les races 3 et 4 ont été décrites respectivement au PaysBas et au Canada (Schreuder, 1951 ; Bolton et al, 1966). En 1970, la race 5 a été décrite dans le nord-ouest de l'état de Washington (Haglund et Kraft, 1970), où tous les cultivars résistants à la race 1 et 2 étaient sensibles. La résistance génétique aux races 1, 2, 5 et 6 de Fop est conférée par des gènes dominants indépendants (Coyen et al, 2000 ;

Kraft et Pflieger, 2001). Les races 1 et 2 entraînent des pertes économiques dans les régions de culture du pois, alors que les races 5 et 6 causent des pertes uniquement pour les cultures de pois Primaires dans le nord-ouest de l'Etat de Washington et en Colombie-Britannique (Haglund et Kraft, 1979).

### **2.3 Cycle épidémiologique de *Fusarium oxysporum f.sp. pisi***

*Fusarium oxysporum f. sp. pisi* peut survivre dans le sol pendant plus de 10 ans en absence de son hôte sous forme de chlamydospores à paroi épaisse. La survie est liée à l'association du champignon avec les racines des plantes non-hôtes. Le champignon est également capable d'infecter les graines. De plus, *F. oxysporum* peut être transporté d'un champ à un autre par les outils agricoles, les débris végétaux, et il peut également être dispersé par le vent ou par les eaux d'irrigation (Kraft et Pflieger, 2001). Le cycle de *F. oxysporum* peut être constitué d'une période unique correspondant à une reproduction asexuée qui se renouvelle et se perpétue sous la forme de conidies (Walker, 1971). *F. oxysporum* produit trois types de spores asexuées : microconidies, macroconidies et chlamydospores (Nelson et al, 1983 ; Agrios, 2005) (Fig. 6).

Le cycle d'infection de *F. oxysporum* est initié par la germination des spores et son allongement dirigé vers la racine de la plante hôte en réponse à des signaux spécifiques de la plante (Nelson, 1991 ; Turrà et *al.*, 2015). Ensuite, les hyphes infectieux en croissance adhèrent aux racines de l'hôte et y pénètrent par des blessures ou en perçant l'épiderme (Nelson, 1981 ; Bishop et Cooper, 1983a ; Benhamou et Garand, 2001 ; Zvirin et *al.*, 2010). Le mycélium avance ensuite de manière intercellulaire dans le cortex radiculaire jusqu'à ce qu'il atteigne les vaisseaux du xylème et les colonise par les fosses (Bishop et Cooper, 1983b ; Beckman, 1987). L'entrée dans les vaisseaux de xylème se produit à travers des creux, et le champignon se modifie à une phase vasculaire distincte où il demeure confiné dans les vaisseaux du xylème. A ce stade, le champignon prolifère dans le xylème, s'infiltrer par la production de microconidies qui migrent vers le haut avec le flux de la sève (Chakrabarti, 2013). Aux stades avancés de l'infection, quand la plante est morte, le champignon passe du mode biotrophe au mode nécrotrophe, en envahissant le parenchyme de l'hôte et en sporulant d'une façon abondante (production des grandes quantités de conidies et de chlamydospores) (Chakrabarti, 2013).

Une température du sol de 21 à 25° C est généralement plus favorable pour que Fop puisse causer la maladie, bien que la race 5 puisse infecter les plantes hôtes à des basses températures (Hagedorn,

1984 ; Kraft et Pflieger, 2001)

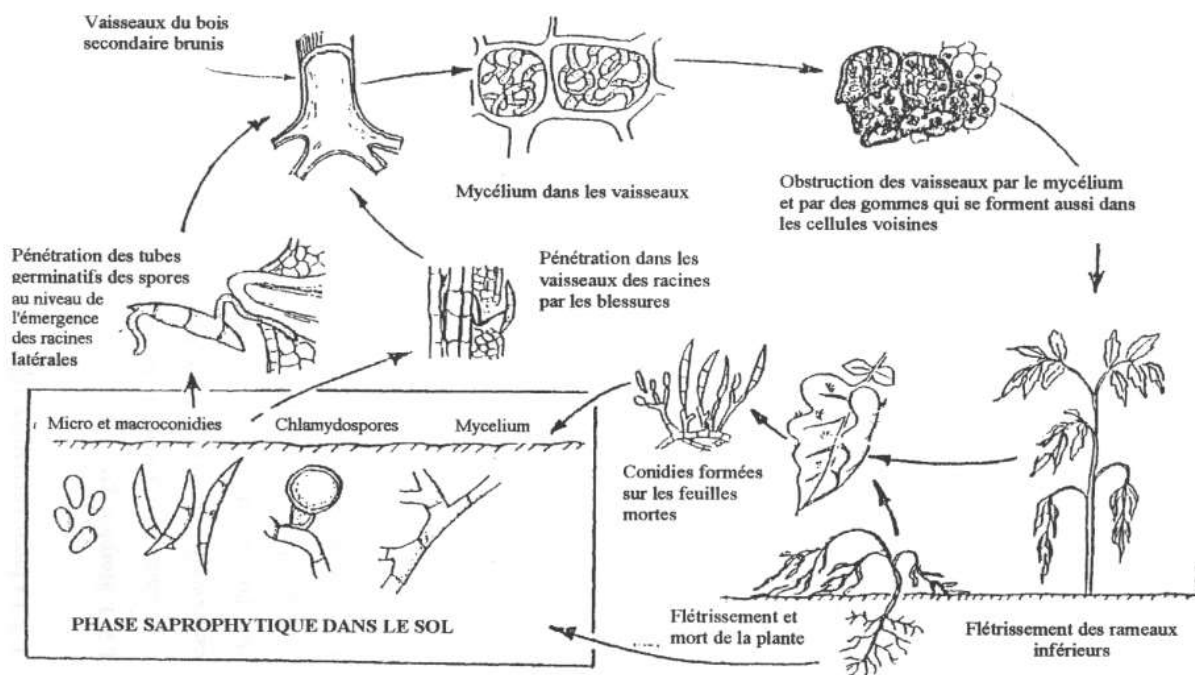


Figure.6 : Cycle infectieux de *Fusarium oxysporum* (Agirose, 2005).

## 2.4 METHODES DE LUTTE

La protection des cultures de pois repose sur plusieurs éléments importants : les méthodes de culture utilisées doivent aider à réduire l'incidence et la sévérité des principaux organismes nuisibles. Les stratégies de lutte dépendent des différents organismes nuisibles présents dans l'environnement de la culture et combinent différents facteurs

### 2.4.1 Lutte culturale

La rotation des cultures est la meilleure pratique culturale qui peut contribuer à la réduction des dégâts causés par les phytopathogènes fongiques. Cependant, la rotation des cultures n'a qu'un effet mineur dans la résolution des problèmes de pois causés par la fusariose vasculaire, non seulement parce que les chlamydospores de *Fop* survivent très longtemps dans le sol, mais aussi parce que l'inoculum peut se multiplier sur les racines des hôtes porteurs asymptomatiques (Keiko et Nagisa, 2005).

## 2.4.2 Lutte biologique

Durant ces dernières années, le contrôle biologique de la fusariose a donné des résultats encourageants. Le biocontrôle consiste à utiliser des champignons antagonistes tels que les souches non pathogènes de *F. oxysporum*, *Trichoderma* et *Gliocladium*, et des bactéries telles que *Pseudomonas fluorescens* et *Burkholderia cepacia* (**Benchabane et al, 2000 ; Pal et McSpadden-Gardener, 2006 ; Toua et al., 2013**).

Bien que promettant, aucun de ces microorganismes n'a été utilisé pour contrôler la fusariose en pratique jusqu'à présent (**Bani, 2015**).

## 2.4.3 Lutte génétique

L'utilisation des variétés résistantes du pois a été considérée comme la seule mesure pratique et économique pour contrôler la maladie en plein champ. La résistance aux quatre races de Fop est contrôlée par des gènes dominants et héréditaires. La résistance à la race 1 est contrôlée par un seul gène dominant (*Fw*) qui est intégré dans la plupart des variétés cultivées (**GrajalMartin et Muehlbauer, 2002**). La résistance horizontale a été identifiée, mais elle reste incomplète. Donc, quand le potentiel de la maladie est élevé, les cultivars meurent ou se mûrissent précocement que les plantes indemnes de maladie, ce qui cause une perte de rendement et de la qualité de congélation ou la mise en conserve des graines de pois (**Hagedorn, 1984 ; Kraft et Pflieger, 2001**).

## CONCLUSION

La fusariose vasculaire du pois, causée par *Fusarium oxysporum* f. sp. *lisi*, a été signalée dans tous les pays où le pois est cultivé. La maladie est souvent sévère là où on pratique de courtes rotations avec d'autres cultures. Dans ces conditions, quand le pathogène développe des quantités suffisantes d'inoculum et en présence d'un cultivar sensible, il en résulte des pertes économiques considérables. En raison des possibilités réduites du contrôle chimique de cette maladie, en plus de la pollution et des risques sanitaires, l'utilisation de cultivars résistants aux différentes races du pathogène, semble être la mesure la plus appropriée.

Un essai de lutte biologique contre le FOP et FSP par l'utilisation de quelques isolats appartenant au *F. oxysporum* non pathogène. Cette espèce douée d'une certaine activité antagoniste contre plusieurs agents fongiques et avoir déjà montré une certaine efficacité contre des *F. oxysporum* pathogènes. l'utilisation d'isolats non pathogènes isolés à partir de la rhizosphère et de plantes de Pois sains, nous a permis de distinguer des effets très encourageants qui se sont traduit par une compétition assez importante pour les sources de nutrition et une réduction de l'indice de la maladie et aussi une nette induction de la résistance de la plante.

Pour la poursuite de ce travail, il sera intéressant d'étudier le comportement de génotypes du petit pois dans des conditions d'infection naturelles et non contrôlées, afin d'évaluer leurs réelles potentialités de résistance à la fusariose vasculaire et à d'autres contraintes biotiques ou abiotiques.



## Références bibliographiques

- **Agrios G.N., 2005.** Plant pathology, 5th edition. Department of plant pathology. University of Florida; Elsevier Academic Press. pp. 948.
- **Androsoff G.L., Van Kessel C. and Pennock D.J., 1995.** Landscape-scale estimates of dinitrogen fixation by *Pisum sativum* by nitrogen-15 natural abundance and enriched isotope dilution. *Biol Fertil. Soils*. p, 20:33-40.
- **Bani M., 2015.** Multidisciplinary approaches including histological, biochemical and molecular tools to study the resistance mechanisms to fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* in pea (*Pisum sativum*). PhD thesis. Department of genetics. University of Cordoba. Spain. 187p.
- **Benchabane M, Bakour R, Toua D, Boutekrabt A., 2000.** Mise en évidence de l'effet antagoniste de *Pseudomonas fluorescens* vis-à-vis de la fusariose vasculaire de la tomate. *Bulletin OEPP/EPPO*, 30, 243-246.
- **Ben Chaima B., 1991.** Contribution à l'étude du *Fusarium oxysporum* (Schlect) emend SNYDER HANS f.sp. *lentis* agent du flétrissement de la lentille. Pathogénéicité et comportement variétal. Thèse d'ingénieur en agronomie, université de Cheliff ; 67 p.
- **Bishop CD. et Cooper RM, 1983 a.** An ultrastructural study of root invasion in 3 vascular wilt diseases. *Physiological Plant Pathology* 22, 15–27.
- **Bishop CD. et Cooper RM., 1983 b.** An ultrastructural study of vascular colonization in 3 vascular wilt diseases. 1. Colonization of susceptible cultivars. *Physiological Plant Pathology* 23, 323–43.
- **Bouznad Z. et Mohammedi S., 1987.** Les Anthracoses des légumineuses en Algérie. Quelques aspects systématiques et pathologiques du genre *Ascochyta*. 1<sup>ère</sup> congrès de la FSP. Rennes, 19-20 Novembre
- **Buxton EW., 1957.** Some effects of pea root exudates on physiologic races of *Fusarium oxysporum* fsp. *pisi* (Lindf) Snyder and Hansen. *Trans Br Mycol Soc* 40, 145- 154.
- **Carrouée A et Girard M., 1994.** Pois protéagineux. *Techniques agricoles*, Editions Techniques - Techniques Agricoles. Fascicule 2212.
- **Chakrabarti A., 2013.** *Fusarium oxysporum*: A “Moving” View of Pathogenicity. Chapter 7, In: Horwitz B.A. et al. *Genomics of soil- and plant associated fungi*. *Soil Biology* 36. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- **Coussin R.,1974.** Le pois : annales de l'amélioration des plantes.INRA,Paris. 10-117.
- **Cousin R., 1997.** Peas ( *Pisum sativum* L.). Field Crops Research. 53 : 111- 130. C
- **Di Pietro A., Madrid MP., Caracuel Z., Delgado-Jarana J. and Roncero MIG., 2003.** *Fusarium oxysporum*: exploring the molecular arsenal of a vascular wilt fungus.Molecular Plant Pathology4, 315–25.
- **FAOSTAT 2013.** Available online : <http://faostat.fao.org>
- **FAOSTAT-Agriculture., 2011.** Food and agricultural commodities production. Food and agriculture organization. Rome
- **Fourie G., Steenkamp E.T., Ploetz R.C., Gordon T.R. and Viljoen A., 2011.** Current status of the taxonomic position of *Fusarium oxysporum* formae specialis cubense within the *Fusarium oxysporum* complex. Infection, Genetics and Evolution. 11: 533-542.
- **Geves., 1995.** Description et classification des variétés de pois.manuel avec mise à jour à échéance régulière.Geves.guyancourt.556 p.
- **Gordon T.R. and Martyn R.D., 1997.** The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. Ann. Rev. Phytopathol. 35: 111-128.
- **Haglund WA. et Kraft JM. ,1970.** *Fusarium oxysporum* f.sp.pisi race 5. Phytopathology 60, 1861-1862
- **Haglund WA. et Kraft JM. ,1979.** *Fusarium oxysporum* f.sp. pisi race 6: Occurrence and distribution.Phytopathology 69, 818-820.
- **Henni, JE. Boisson, C. Geiger, JP. 1994.** Variabilité de la morphologie chez *Fusarium oxysporum* f.sp lycopersici. Thèse de Doctorat en science de la nature (Phytopathologie), Phytopathmedit.51-58.
- **Keiko, Y. and Nagisa, M., 2005.** Control of *Fusarium* Wilt of Pea and Occurrence conditions.Research Bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center, 37:105-110
- **Kraft, J.M., and W.A.Huglund.1978.**A Reappraisal of the race classification of *Fusarium oxysporum* f.sp.pisi. Phytopathology 68: 273-275.
- **Kraft J.M., 1994.** *Fusarium* wilt of peas (a review). Agronomie. 14: 5611-567.
- **Kraft, J.M., Larsen, R.C. and Inglis, D.A., 1998.** Diseases of pea. In: Allen, D.J. and Lenné J.M. (Eds).The Pathology of Food and Pasture Legumes. CAB International, Wallingford, UK. pp.325-370.
- **Kraft J. M., 1995. Fusarium wilt of peas (a review). Agronomie, 14: 561–567. Kraft J.M. et Pflieger F.L., 2001.** Compendium of Pea Diseases, 2nd ed., APS Press, St. Paul, MN, USA

- **Kraft, J.M. and Pflieger, F.L., 2001.** Compendium of Pea Diseases, APS Press, St. Paul, Minnesota, USA. 67p
- **Linford M.B. ,1928.**A Fusarium Wilt of Peas in Wisconsin. Wisc Agric Exp Sta Res Bull WI, USA,85, 43
- **Loumont R. et chevassus A., 1960.** Note sur l'alimentation de lentille en Algérie ; ANN, INRA ElHarrach ,Tome 2 pp 3-37
- **Maatougui M .E ., 1996.** Situation de la culture des fèves en Algérie et perspective de relance. Numéro spécial Fève, co-éditée par l'Institut Technique des Grandes Cultures et le réseau maghrébin de recherche sur fève, Céréaliculture 29 :6-14
- **Messiaen, C. M. & Cassini, R., 1968.** Systématique des Fusarium. Annales de Phytopathologie 3: 386-454.
- **Nelson P. E., 1981.** Life cycle and epidemiology of Fusarium oxysporum. In: Fungal wilt diseases of plants. (M.E. Mace, A.A. Bell and C.H. Beckman, editors), Academic Press, New York, 51-80.
- **Nelson P. E., Toussoun T.A. and Marasas W. F. O., 1983.** Fusarium species: An illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University press, University Park. 193 pp.
- **Nelson, M.E. and Powelson, M.L., 1988.** Biological control of gray mould of snap beans by Trichoderma hamatum. Plant Dis. 72: 727-729.
- **Redden, B., Leonforte, T., Ford, R., Croser, J. and S., 2005.** Pea (*Pisum sativum* L.) In: Singh, R.J. and Jauhar, P.P. (Eds.) Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement "Grain Legumes". CRC Press, Boca Raton, pp. 58-98.
- **Rubiales, D., Fernandez-Aparicio, M, Moral, A., Barilli, E., Sillero, J.F. and Fondevilla, S. (2009b).** Disease Resistance in Pea (*Pisum sativum* L.) Types for Autumn Sowings in Mediterranean Environments. Czech J. Genet.Plant Breed., 45: 135–142.
- **Saxena, N.P., 1993.** Selection for drought and salinity tolerance in cool season food legumes. In: Singh, K.B., Saxena, M.C.(eds) Breeding for stress tolerance in cool season food legumes. ICARDA/John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 245-270.
- **1Plant pathology.3rd edition, P.829.**

