



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الابراهيمي

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Phytopathologie

Thème

L'effet de quelques facteurs abiotiques sur la fusariose vasculaire du pois chiche causé par
Fusarium oxysporum f.sp. ciceris

Présenté par :

- MABREK SALAH
- SI MOHAMED HOCINE

Devant le jury :

Président M. KHODOUR .A

Promoteur : M .MOUTASSEM .D

Examineur : M^{me} . ZIOUCHE.S

MAA Université BBA.

MAA Université BBA

MAA Université BBA

Année universitaire : 2015/2016

Résumé

Ce travail consiste à déterminer l'effet de quelques facteurs abiotiques sur la fusariose vasculaire du pois chiche dans 08 sols collectés à partir de quatre régions dans le Nord –Est Algérien durant la campagne 2015. Au cours des expériences effectuées sous serre, la maladie a été observée sur tous les parcelles testées. Les valeurs de l'AUDPC constaté montrent que les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le S1 (4081) et le S2 (4098,5). Par contre, les sites le site S4, S7 et S8 ont prononcé les valeurs les plus faibles de l'AUDPC 1300, 1372,0 et 1229,0 respectivement. Les résultats obtenus montrent des variations des facteurs de croissance le rendement, la matière sèche et le poids de nodosité en réponse aux différents types de sites expérimentaux. A cet effet, des corrélations négatives entre les taux de l'AUDPC et la biomasse des nodules ($r=-0,78$) ainsi que la matière sèches ($r=0,73$). Cet effet, est expliqué par une valeur faible de l'AUDPC se traduit par un bon rendement, un poids sec acceptable et une nodosité importante. La recherche sur l'effet des éléments minéraux sur la fusariose vasculaire a dénudée une corrélation significativement négative ente l'azote et la valeur de l'AUDPC, une corrélation positif avec le p-assimilable et aucun corrélation n'a été constaté avec le p-total. Les apports de l'azote augmentent significativement la résistance des plantules de pois chiche.

Mots clés : *Cicer arietinum* L., *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri*, flétrissement vasculaire, phosphore, l'azote.

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes parents

À mes enfants chaima & tahar

À mes frères

À mes soeurs

À toute ma famille

À mes amis

À tous.

SALAH

Remerciements

Nous tenons tous d'abord à exprimer notre très grande gratitude à **ALLAH**.

Cette première page est dédiée à toutes les personnes qui ont contribué, à un moment de notre travail, au bon déroulement et à l'achèvement de ce mémoire. En espérant ne pas en avoir oublié, qu'ils soient tous ici chaleureusement remercier.

Tout d'abord, je dois remercier **M.KHODOUR .A** Maître Assistant classe A à l'Université de Bordj Bou Arréridj, pour avoir aimablement accepté la présidence du jury. Sa présence dans celui-ci, témoigne d'une grande gentillesse.

On exprime notre vive reconnaissance à notre encadreur **M .MOUTASSEM .D** Maître assistant Classe A à l'Université de Bordj Bou Arréridj pour nous avoir initiés à la présente étude, fait bénéficier de leur expérience et orienté tout au long de notre recherche.

Nous adressons nos remerciements à **M^{me} . ZIOUCHE .S** Maître Assistant classe A à l'Université de Bordj Bou Arréridj, pour avoir accepté d'examiner le présent travail.

Nos remerciements particuliers vont au Département des Sciences Biologiques, Université de Bordj Bou Arréridj,

A tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et à nos collègues, qui nous ont fait part de leur amitié et solidarité, on témoigne notre profonde gratitude.

Nous n'oublierons pas d'adresser nos sincères remerciements à nos familles pour leurs aides, encouragements et soutien moral.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de la réalisation du présent travail.

Merci à tous.

Liste des abréviations

°C: Degré Celsius.

AUDPC: Area Under the Disease Progress Curve

CE : Conductivité électrique

cm : Centimètre

FO : Fusarium oxysporum

Foc : *Fusarium oxysporum* f. sp. *Ciceris*

G : gramme.

Ha : Hectare

ISM : l'indice de la sévérité moyenne

Kg : kilo gramme

M : Molaire

Mg : Milligramme.

Mm : Millimètre.

N : azote

P : phosphore

PDA : Potato-Dextrose-agar

pH: Potentiel d'hydrogène

Qx: Quintaux

Tableau 01. Composition chimique de pois chiche	4
Tableau 02. Evolution des productions agricoles, superficies, et rendements du pois-chiche en Algérie durant la campagne 2000-2014.....	7
Tableau 03. Origine des prélèvements des échantillons de sols utilisés pour l'étude de la diversité des populations de FOC.....	20
Tableau 04. Propriétés physico-chimiques du sol des sites expérimentaux. Les valeurs représentent la moyenne de 4 répétitions \pm SE (Erreur standard). Les lettres indiquent une différence significative entre les moyennes à $p < 0,01$	31

Fig 01. Symptômes typiques et atypiques du flétrissement vasculaire du pois chiche	11
Fig 02. Variabilité de la morphologie de <i>Fusarium oxysporum f.sp. ciceris</i>	14
Fig 03. cycle biologique de <i>Fusarium oxysporum f.sp ciceris</i>	16
Fig 04 carte géographique représente la zone d'étude	19
Fig 05. l'installation de l'essai dans un serre durant la période de semis.....	21
Fig 06. photo de l'essai en plein de culture (floraison).....	21
Fig 07. Photo de l'étude au laboratoire.....	21
Fig 08. variation de P-total, P-Olsen dans les huit sites expérimentaux dans les semis et la jachère.....	32
Fig 09. variation de P-total dans les huit sites expérimentaux après récolte.....	33
Fig 10. variation d'Azote total et le pH dans les huit sites expérimentaux dans les semis et la jachère.	34
Fig 11. variation de l'azote dans les huit sites expérimentaux après récolte.....	35
Fig 12. Relation entre les teneurs en P-total et l'azote total dans la plantes et les valeurs de l'AUDPC	35
Fig 13. : Relation entre les teneurs en P-Olsen P- total et l'azote total dans la rhizosphère et les valeurs de l'AUDPC.....	37
Fig 14. Symptômes typiques et atypique de flétrissement vasculaire du pois chiche ; a – symptômes de jaunissement sur les parties inférieures de la plantes b – symptômes de flétrissement sur les parties supérieures de la plante c – symptômes sur les gousses (gousses vides) d – système racinaire réduit (personnelle 2016).....	38
Fig 15. Système racinaire avec différents type de nodosités (personnelle 2016).....	39
Fig 16. valeurs de l'AUDPC dans les différents sites. Les données sont les moyennes de 4 répétitions ± ES.....	40
Fig 17. Rendement en grains (a), poids de la matière sèche (b) et des nodules (c) dans les différents sites. Les données sont les moyennes de 4 répétitions ± ES. Différence significative à $p < 0,05$ et $p < 0,01$, respectivement.....	41
Fig 18. Relation entre les facteurs de (production, croissance) et les valeurs de l'AUDPC : Rendement (a) , biomasse sèches (b), des poids des nodules (c).....	43

Fig 19. Les isoléments obtenus à partir des tiges. Variabilité des morphotypes
des isolats du *FOC*44

Introduction générale	1
Chapitre I Synthèse bibliographique	
I. Plante hôte : pois chiche (<i>Cicer arietinum</i> L.)	3
1.1. Origine et historique du pois chiche	3
1.2. Intérêt et importance de la culture.....	3
1.2.1. Propriétés nutritionnelles	3
1.2.2. Propriétés thérapeutiques	4
1.2.3. Propriétés agronomiques.....	5
1.3. Production et distribution géographique.....	5
1.3.1. Place de la culture de pois chiche dans le monde.....	5
1.3.2. Place du pois chiche en Algérie	6
1.4. Caractères botanique et classification	7
1.5. Etat phytosanitaire.....	9
2. Flétrissement vasculaire du pois chiche	9
2.1. Importance de la maladie	9
2.2. Symptomatologie	10
2.3. L'agent pathogène <i>Fusarium oxysporum</i>	12
2.3.1. Historique et classification.....	12
2.3.2. Biologie de FOC.....	13
2.3.3. Epidémiologie et mode de survie	15
2.4. Méthodes de lutte	16
2.4.1 Méthode culturales	16
2.4.2. Lutte biologique	16
2.4.3. Lutte chimique	17
2.4.4. Résistance variétale	17
Chapitre II Matériel et méthode	
2.1. Prospections.....	19
2.2. Prélèvement des échantillons de sols	19
2.2.1. Conduite et organisation des essais	20
2.2.1.1. Étude sous serre (<i>in vivo</i>).....	20
2.2.1.1.1. Préparation et réalisation du semis	20
2.2.1.2 Étude au laboratoire (<i>in vitro</i>)	21
2.2.2. Caractérisation physico-chimique des échantillons de sols	22

2.2.1. Préparation des échantillons de sols	22
2.2.2. Mesure de l'Acidité du sol	22
2.2.3. Mesure de la conductivité	22
2.2.4. Mesure de l'humidité.....	23
2.2.5. Dosage du calcaire total (CaCO ₃).....	23
2-2.6. Détermination de la matière organique	23
2.2.7. Détermination de P Olsen	23
2.2.8. Dosage de l'azote total.....	24
2.2.9. Dosage de phosphore total	25
3. Analyses microbiologiques.....	25
3.1. Isolement et purification de <i>Fusarium oxysporum</i>	25
3.1.1. Milieux de cultures utilisés	25
3.1.2. Prélèvement des échantillons et méthode d'isolement	25
3.1.3. Purification.....	25
3.2. Identification des champignons	25
3.2.1. Obtention de la culture monospores	25
3.2.2 Les critères d'identification	26
3.2.2.1. Macroscopique	26
3.2.2.2 Microscopique	26
3.3. Etude du pouvoir pathogène des isolats du FOC	27
3.3.1. Préparation de l'inoculum et obtention des plantules	27
3.3.2. Inoculation	27
4. Exploitation des résultats et analyses statistiques	27
4.1. Calcul de l'Indice de Flétrissement (<i>DII</i>).....	28
4.2. Calcul de l'AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve)	28
4.3. Analyse statistique.....	29

Chapitre III résultats et discussion

I. Résultats.....	30
1.1. Caractérisation physicochimique des sols des différents sites expérimentaux	30
1.2. Concentration du P total dans la rhizosphère.....	31
1.3. Concentration du P (Olsen-P) assimilable dans la rhizosphère.....	32
1.4. Le phosphore total prélevé par les plantes.....	33
1.5. Concentration du l'azote total dans la rhizosphère	33
1.6. L'azote total prélevé par les plantes	34

1.7. Effet de phosphore total du sol	36
1.8. Effet de phosphore assimilable	36
1.9. Effet de l'azote du sol sur la maladie	36
2. Analyse de l'effet de la maladie sur la culture de pois chiche	37
2.1. Description des Symptômes.....	37
2.2. Analyse quantitative de la maladie.....	39
3. Variation de la croissance, de la nodulation et du rendement en grains	40
3. 1. La relation entre le rendement, la nodulation et la maladie	42
3. 2. La relation entre le poids de la matière sèche et la maladie.....	42
4. Isolement, identification et pathogénicité des isolats de <i>Fusarium oxysporum</i>	43
II. Discussion.....	44
Conclusion	51
Références bibliographique.....	53
Annexe	

Introduction

Les légumineuses alimentaires sont depuis toujours présentes dans le monde et représentent une portion importante de l'alimentation humaine et animale (Singh et Saxena, 1996). Parmi les légumineuses, le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) occupe la deuxième place après le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) (FAOSTAT, 2012). Cette culture est largement pratiquée dans le monde, pour l'intérêt qu'elle assure sur le plan agronomique, nutritionnel et thérapeutique. L'importance nutritionnelle du pois chiche est représenté par sa richesse en protéines avec des acides aminés essentiels (Jukanti et *al.*, 2002 in Gary) qui complémente bien celle des céréales qui occupent, avec le pois chiche, une part importante de l'alimentation dans les pays d'Afrique du Nord et d'Asie (Saxena, 1990). L'usage médicinal est une des propriétés très importante de cette culture, où la plante dans son ensemble est utilisée depuis fort longtemps dans les usages thérapeutiques. Sur le plan agronomique, son intérêt réside en effet, dans leur facilité à fixer l'azote atmosphérique qui peut accéder, à plus de 140 kg.ha⁻¹ et satisfaire plus de 80% de ses besoins en azote (Gaur et *al.*, 2008), grâce aux bactéries, contribuant ainsi à l'élévation du niveau de la fertilité des sols, ce qui explique son importance dans le système de rotation en céréaliculture (Saxena, 1988).

En effet, la culture de pois chiche occupe une place importante dans l'alimentation, mais elle est loin d'avoir une place équivalente à celle des céréales dans le système de production. Les superficies emblavées par la culture du pois chiche sont de l'ordre de 30562 H. Cependant, la production nationale est de 276750 Q. Au plan national, les rendements moyens en pois chiche sont faibles, dont les plus élevés a été enregistré lors de la campagne 2012/2013 (7,4 qx/ha) Ministère de l'agriculture, 2015.

Malgré les efforts déployés, la production nationale reste encore très insuffisante. Cette insuffisance est liée aux difficultés agro techniques, à une stagnation des superficies de culture et aux problèmes Phytosanitaires (maladies, mauvaises herbes) (Toulaiti, 1988). De ce fait, chaque année l'Algérie à recours aux importations pour satisfaire les besoins de la population.

Sur pois chiche, le flétrissement vasculaire causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* Synder et Hansen « Padwick » est considéré comme étant l'une des maladies les plus importantes sur cette culture dans le monde. D'après Reddy et *al* (1980), le flétrissement causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri* apparait comme la maladie la plus dévastatrice dans beaucoup de pays de culture de pois chiche, notamment en Afrique du Nord.

En Algérie, cette maladie rapportée pour la première fois par Bouznad (1989) est considérée parmi les maladies les plus importantes sur pois chiche ou des prospections réalisées dans différentes régions du pays, ont révélé la forte présence de cette maladie. Dans

le Nord-Ouest du pays 20-45% des champs prospectés sont affectés par la fusariose du pois chiche (Maatougi, 1996). Selon Sayoud et *al.* (1999) la maladie reste assez localisée, surtout dans le Nord-Est du pays, avec des attaques sévères notamment dans la région de Guelma et Skikda (Bellah et *al.*, 2003), Mascara, Ain Timouchent et Sidi Bel Abbes (Ben Freha et *al.*, 2010). Cette maladie est devenue de plus en plus dévastatrice et dommageable dans les vingt dernières années. Malheureusement, peu des travaux ont été effectués sur cette maladie, en particulier sur les facteurs épidémiologiques qui gouvernent son développement.

L'objectif de notre travail consiste à étudier l'effet de quelques facteurs abiotiques particulièrement l'azote, Phosphore total et assimilable sur la gravité de la maladie de flétrissement vasculaire. Notre travail s'est déroulé en plusieurs étapes :

- L'étude descriptive de la situation épidémiologique, dont le but est le prélèvement de l'incidence et la sévérité de la maladie.
- isolement de FOC à partir de tiges des plantes malades.
- Analyse physico-chimique des échantillons de sol (pH, la conductivité électrique, Azote, Phosphore)
- Etude de l'effet de ces derniers facteurs abiotiques sur la gravité de la maladie.

Ce document s'articule autour de trois parties. La première partie qui est une synthèse bibliographique traite d'abord des généralités sur la culture du pois chiche (*Cicer arietinum*, L), et la présentation de l'agent pathogène *Fusarium oxysporum* f.sp *ciceri*. La deuxième partie concerne le matériel utilisé et la méthodologie adoptée. Dans la dernière partie de ce document nous rapportons la présentation des différents résultats acquis, les principales conclusions tirées de ce travail et émettons des réflexions pour la suite de cette étude.

Chapitre I
Synthèse
Bibliographique

I. Plante hôte : pois chiche (*Cicer arietinum* L.)

1. Origine et historique du pois chiche

Le pois chiche est originaire du Sud-Est de la Turquie (Ven der Maesen, 1987), et le Nord Est de la Syrie (Staginnus et *al.*, 1999). Il a été cultivé pour la première fois à environ 7000 -8000 ans avant JC (Sharma et Muehlbauer, 2007; Staginnus et *al.*, 1999), et aurait été domestiqué dans la région du « croissant fertile » qui se situe au Proche Orient (Ramanujam, 1976), il y a 7000 ans. Des restes carbonisés découverts au Proche-Orient indiquent que cette espèce était cultivée au VII^e millénaire avant notre ère avec les céréales, le petit pois et la lentille (Vanier, 2005; Redden et Berger, 2007). Il est probablement originaire des régions de la Palestine actuelle et de la Syrie, car les données archéologiques rapportent des graines de formes cultivées de cette espèce à Ramad (près de Damas) et à Jéricho, qui sont anciennes de 9200 et 8500 ans A.J. L'expansion de cette culture a été rapide dans les régions méditerranéennes, car il était cultivé en Égypte depuis au moins 6000 ans. Les signes de sa domestication en Turquie remontent à environ 9 400 ans (Staginnus et *al.*, 1999).

Le pois chiche descende de l'espèce sauvage *Cicer reticulatum*, découverte en 1975 par Ladizinski au Sud-Est de la Turquie (Ladizinski et Adler, 1976 b) et à Tell el- Kerkh par Tanno et Willcox, (2006). Cette hypothèse est renforcée par les études récemment établies à savoir, les études cytogénétiques (Ladizinski et Adler, 1976a ; Ahmed et *al.* 1988 ; Ocampo et *al.*, 1992), enzymatiques (Kazan et Muehlbauer , 1991 ; Ahmed et *al.*, 1992) et moléculaire (Ohri et Pal, 1990, Ken-ichi et Willcox, 2006). Par ailleurs, les résultats des croisements interspécifiques effectués respectivement par Ladizinski et Adler, (1976a) : Singh et Ocampo, (1993), ont également consolidé la présente hypothèse.

2. Intérêt et importance de la culture

2.1. Propriétés nutritionnelles

La culture du pois chiche est destinée à la consommation humaine (les gousses ou graines sont consommées à l'état frais ou les graines à l'état sec) et à l'alimentation des animaux (les résidus de cultures : partie aérienne). En effet, le pois chiche constitue un aliment de base pour la population algérienne, Son usage comme une nourriture humaine est assez fréquent dans les soupes (Chorba et Harira), sauces (Couscous), plats (Tadjines), et les sandwiches (Karentika) (Labdi, 1990).

Le pois chiche, comme toutes les légumineuses alimentaires, est un aliment riche en protéines végétales, en plusieurs vitamines, sels minéraux et en fibres alimentaires. La principale caractéristique nutritionnelle du pois chiche est sa richesse relative en matière grasse 5% contre 0,6 à 2,5 % pour les autres légumineuses sèches (Aubert, 1992). Le pois chiche n'atteint que 23%, mais cela reste le double de ce que peuvent offrir les céréales, et plus que ce que l'on trouve dans la viande. Il contient 17% à 24% des protéines avec des acides aminés essentiels tel que : tryptophane, méthionine et la cystéine (Rajesh, 2001). C'est une bonne source des carbohydrates, qui constituant 80% de l'ensemble du poids sec total de la graine. La disponibilité des éléments nutritifs de pois chiche est calculée pour être 12 calories par graine (Rajesh, 2001).

Tableau 1.Composition chimique de pois chiche

Eléments	gr ou mg/100g
Protéines (gr)	23
Carbohydrates (gr)	64
Amidon (gr)	47
Lipide (gr)	5
Fibres bruts (gr)	6
Sucres solubles (gr)	6
Cendre (mg)	3
Phosphore (mg)	343
Calcium (mg)	186
Magnésium (mg)	141
Fer (mg)	7
Zinc (mg)	3

(Singh et Jauhar, 2005; Williams et Singh, 1987)

2.2. Propriétés thérapeutiques

Depuis le temps ancien, le pois chiche était connu comme une plante médicinale précieuse. Les tiges, les racines, les feuilles comme les graines tous sont utilisés depuis fort longtemps dans les usages thérapeutiques (Oudhia et al, 2002) rapportent que le pois chiche améliore le goût et l'appétit, ses solutions sont utilisées pour guérir la bronchite chronique. La graine est utilisée comme fortifiant, stimulant aphrodisiaque, dans les troubles du sang, les

problèmes de la gorge et l'affection hépatique. Selon Aubert, (1992) le pois chiche est bon pour le corps, provoquant l'urine, mais aussi des gaz, donne un bon teint, favorise l'accouchement, les menstruations et la lactation. Des études ont associé une consommation régulière de légumineuses à divers effets bénéfiques tels qu'un meilleur contrôle du diabète, une diminution du risque de maladie cardiovasculaire et une diminution du risque de cancer colorectal (Bedard, 2005).

2.3. Propriétés agronomiques

Sur le plan agronomique et en tant que légumineuse, le pois chiche peut s'intégrer dans les systèmes de production biologique qui utilisent la bio-fertilisation. A cet effet, il est utilisé avec d'autres légumineuses dans les systèmes des rotations et d'associations culturales avec d'autres cultures notamment les céréales dans le but d'assurer la meilleure efficacité d'utilisation des ressources en azote. En effet, l'importance des légumineuses et en particulier le pois chiche réside dans leur facilité à fixer l'azote atmosphérique grâce aux bactéries, contribuant ainsi à l'élévation du niveau de la fertilité des sols.

Economiquement, le remplacement de la jachère nue par la culture du pois chiche dans le système céréales-jachère représente un gain de surfaces cultivées (Kande, 1965).

3. Production et distribution géographique

3.1. Place de la culture de pois chiche dans le monde

La culture du pois chiche, est traditionnellement cultivée dans plusieurs parties du monde (Saxena, 1990 ; Diekman, 1992). En fait, le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est cultivé sur une large gamme de zones bioclimatiques qui s'étendent du subtropical, l'Inde et le Nord-Est de l'Australie, aux zones arides et semi-arides des régions du Bassin méditerranéen et de l'Australie Méridionale (Pacucci et al, 2006). Le Pois chiche est parmi les espèces les plus importantes de légumineuses alimentaires, cultivées dans le monde. Actuellement, 54 pays recouvrant les cinq continents sont des producteurs de cette légumineuse (Gaur et al. 2012). Mais les régions de l'Asie occidentale et l'Afrique septentrionale, étalés du Pakistan dans l'Est au Maroc à l'Ouest, et de la Turquie dans le Nord au soudan et l'Ethiopie au Sud, forment les régions les plus productrices de Pois chiche dans le monde (Saxena, 1996). Cette culture occupe le troisième rang mondial après le haricot (*Phaseolus vulgaris*) et le pois (*Pisum sativum* L.). Avec une production mondiale de 7 millions de tonnes, pour une surface cultivée de 10 millions d'hectares.

D'après Bouchez (1985), le subcontinent indien représente la plus grande zone de production mondiale du pois chiche avec un taux de 86%, suivi de l'Amérique latine avec 32% de production, ainsi que l'Afrique de l'Est avec 2.2% et le bassin méditerranéen avec 9%.

La production mondiale est variée également parmi les principaux pays producteurs, notamment l'Australie, le Pakistan, le Mexique, le Myanmar et l'Éthiopie. Par contre, elle a suivi une tendance ascendante aux États-Unis, au Canada et l'Iraq, et une tendance décroissante en Syrie et l'Espagne. L'Australie, la Turquie, l'Iran, Mexique et Canada constituent les pays potentiels exportateurs du pois chiche. Les exportations mondiales de pois chiche ont aligné de 998-682 million de tonnes dans la période de 2001-2004, par contre Les importations mondiales de pois chiche ont aligné de 1118-732 million de tonnes durant la même période, et les pays importateurs potentiels sont : l'Inde, le Bangladesh, l'Espagne, le Pakistan et l'Algérie (AAC, 2006; Mcvicar, 2006).

3.2. Place du pois chiche en Algérie

En Algérie, la culture des légumineuses et en particulier le pois chiche à un intérêt national, car elle doit permettre de satisfaire les besoins, réduire les importations et limiter la dépendance économique vis-à-vis de l'étranger. En effet, cette culture occupe environ 37,04% de la superficie totale, et avec un taux de production de 39,28% de la production des légumineuses alimentaires au niveau national. Parmi les 48 régions 31 sont des régions productrices de cette culture, d'après les statistiques agricoles du DSA, 2007 représentés dans les régions d'Ain Timouchent, Tlemcen, Sidi Bel Abbes, Mostaganem et Mascara, constituent les régions productrices potentielles. Cependant, la production dans les autres régions a connu une importante régression en particulier dans les régions de Relizane, Constantine, Media et Saïda, dont la production a atteint une diminution jusqu'à 100 %.

La production du pois chiche est répartie dans tous le Nord Algérien. La plus grande part de la superficie nationale plus (48,30%) est contribué par le Nord-ouest Algérien. Cependant, le reste de la superficie est partagée dans les autres zones géographiques (Maatougi et al, 1996). Le tableau 2 montre qu'il y a une augmentation importante des superficies destinées pour cette culture. Les superficies sont passées de 19 480 Ha en 2000 jusqu'à 29 320 Ha en 2014. La production varie indépendamment de 66 610 quintaux en 2000 à 351 178 quintaux en 2014. Cette variation est accompagnée par des fluctuations des rendements de 3.4 q/ha en 2000 à 10.5 q/ha en 2014, avec un pic enregistré en 2013 de 11.9

q/ha. Malgré l'évolution des quantités enregistrées de la période allant de 2000 à 2009, les rendements de cette culture reste parmi les plus faibles rendements dans le monde.

La culture du pois chiche peut jouer un rôle important dans les systèmes agraires en Algérie, bien que sa production reste marginalisée en raison de la faiblesse et de la grande instabilité des rendements dus au déficit hydrique d'une coté et le stress biotique d'un autre coté qui caractérisent la plupart des zones de cultures potentielles du pois chiche en Algérie.

Les causes de la faiblesse de la productivité du pois chiche en Algérie sont souvent d'ordre agro techniques liées aux conditions de semis (période, modes de semis, qualité de la semence) et à l'infestation par les adventices (Hamadache et Ait Abdallah., 1998).

Tableau 2 : Evolution des productions agricoles, superficies, et rendements du pois-chiche en Algérie durant la campagne 2000-2014.

Années	Production (Quintal)	Superficie (Ha)	Rendement (Qx/ha)
2000	66 610	19 480	3.4
2001	123 120	19 290	6.4
2002	149 710	19 330	7.7
2003	191 020	22 850	8.4
2004	163 670	23 079	7.1
2005	137 270	23 348	5.9
2006	127 058	21 252	6.0
2007	142 940	20 681	6.9
2008	112 110	20 361	5.5
2009	178 404	22 274	8.0
2010	234 737	25 525	9.2
2011	240 512	27 734	8.7
2012	276 750	30 562	9.1
2013	349 802	29 320	11.9
2014	351 178	33 295	10.5
MOYENNE	189 659	23 892	7.6

(Ministère de l'agriculture, 2015)

4. Caractères botanique et classification

Le nom scientifique du pois chiche, *Cicer arietinum* L., Cicer vient du latin : Cicus et du grec : Kykus qui signifie force, vigueur : une allusion à la richesse protéine de ses graines. (Bouchez, 1985). Le mot «arietinum» est aussi latin, traduit du mot grec «Krios», une allusion de la forme des grains qui ressemblent à la tête de bélier (Van Der Maesen, 1987).

Le pois chiche appartient à la famille des papilionacées et à la tribu des Cicereae (Kupicha, 1977 et 1981). Le genre *Cicer* comprend actuellement 43 espèces, dont 9 sont annuelles, 33 pérennes et une indéterminée (Van der Measen, 1987).

Le pois chiche est une plante herbacée annuelle, diploïde ($2n = 16$ chromosome), autogame, présentant moins de 1% d'hybridation naturelle (Singh et Reddy, 1991). Appartenant à :

Embranchement	: Spermaphytes
S/embranchement	: Angiospermes
Classe	: Dicotylédones
S/classe	: Dialypétales
Ordre	: Rosales
Famille	: Légumineuses
Sous famille	: Papilionacées
Genre	: <i>Cicer</i>
Espèce	: <i>Cicer arietinum</i> L (Atmani, 1995).

Il existe une grande variabilité phénotypique et génotypique du pois chiche, ce qui a amené les chercheurs à subdiviser cette espèce en trois groupes distincts, selon la taille et le poids des graines.

Le type Kabuli

Ce type représente 10 à 15% de la production mondiale (Planquaert et *al*, 1988) ; A grosses graines ridées, de taille variable, de couleur crème et des fleurs de couleur blanche. La teneur en sucre et en protéines au niveau des cotylédons est plus importante qu'en cellulose. Trois catégories de graines, sont décrites dans le monde (Singh et *al*, 1987).

Le type Dési

Il est cultivé essentiellement dans les pays asiatique et au Mexique (Planquaert et *al*, 1988), Il représente environ 85% de la production mondiale (Planquaert et Werry, 1991).

Ce type a été développé par l'ICRISAT, sous la dénomination d'ICC. Il se distingue par de petites graines noires angulaires et ridées, de couleur jaune à noire et présentent une pigmentation anthocyanique des fleurs, des tiges et des feuilles dont le poids de 100 graines est compris entre 11 – 18g (Singh et *al*, 1987). Il est cultivé essentiellement dans les pays du

Nord Asiatique ; ce type est assez résistant au flétrissement et aux pourritures racinaires. Toutefois, Il reste sensible à l'antracnose (Nene et *al*, 1980 ; Jimenez-Diaz et *al*, 1989).

Le type Gulabi ou intermédiaire

Qui est beaucoup moins cultivé que les types précédents. De nombreux croisement du type Gulabi avec le type Kabuli, (Plancquaert et *al*, 1988) et assure un meilleur enrichissement des sols en azote (50 à 60 kg/ha/an) (Balkhter, 1987 in Haddadi, 1992). Il se distingue par des graines lisses, de couleur crème, et un poids de 100 graines compris entre 15 et 25g, ressemblant au pois avec un bec caractéristique (Plancquaert et *al*, 1988)

5. Etat phytosanitaire

Cette culture peut être affectée par plus de cinquante agent pathogènes dont plusieurs sont telluriques (Nene, 1980 ; Smithson et *al*, 1985 ; Jimene-Diaz et *al*, 1989). En particulier les prospections en Algérie (Reddy et *al*, 1980) ont permis d'observer plusieurs maladies sur le pois chiche. Parmi les problèmes phytopathologiques majeurs recensés sur cette culture, on note l'antracnose causée par : *Aschochyta rabiei* et les maladies virales provoquant le rabougrissement. Cette même prospection a permis de noter la présence d'autres maladies moins importantes comme la rouille causée par *Uromyces ciceris-arietini*, la pourriture des racines causée par *Rhizoctonia bataticola* et le flétrissement causé par *Fusarium oxysporum f.sp ciceri*.

Dans d'autres pays, cette dernière maladie est considérée comme un problème non négligeable sur cette culture, causent d'importants dégâts (Jimenez-Diaz et Singh, 1987). En Algérie, les prospections et travaux récents (Rouibah, 1989 ; Solh 1989 ; Si-Hassen, 1990) ont fait apparaitre l'évolution inquiétante du flétrissement dans les zones de culture du pois chiche notamment dans l'Est du pays. L'importance des dégâts nous impose à présenter quelques données sur la maladie.

II. Flétrissement vasculaire du pois chiche

1. Importance de la maladie

Dans les pays du Bassin méditerranéen, l'extension du flétrissement du pois chiche en Tunisie menace sérieusement les récoltes ; les dégâts ont été estimés à 50% durant la campagne agricole 1982/83 (Anonyme, 1985). En Espagne, cette maladie signalée durant la

compagne agricole 1979/80 a causé une perte annuelle estimée à 12% plus récemment, certains champs étaient détruits à plus de 80% (Jimenez-Diaz et Singh, 1987).

Au Maroc, ce champignon a été rapporté pour la première fois par Boorsma (1978) et plus récemment par Rh'ris (1990), isolé à partir des semences et des plants présentant des symptômes de flétrissement.

En Algérie, les premiers isolements effectués à partir de plants de pois chiche flétris ont montré après domination du *Fusarium oxysporum* (Bouznad et al, 1989). Depuis des travaux ont été entrepris par Rouibah (1989) et Si-Hassan (1990).

2. Symptomatologie

Selon Erwin (1958) les symptômes du flétrissement apparaissent en plein champ durant les mois de juin et de juillet. La maladie se manifeste au champ 25 jours après le semis, mais sont plus apparents en début de floraison (Jimenez-Diaz et al, 1989). La maladie causé par un flétrissement peut être confondue par celle due aux pourritures racinaires, quand l'examen du plant n'est pas prudente (Haware, 1986).

Il se manifeste par un jaunissement et une décoloration vasculaire qui commencent par les feuilles du bas et affectent progressivement celle du haut (Nene et al, 1978 ; Trapro-Casas et Jimenez-Diaz, 1985). Au niveau de la partie aérienne, deux types de symptômes peuvent se distinguer l'un de l'autre ; flétrissement et jaunissement vasculaire (Trapero et Jimenez, 1986). Le premier type de symptôme s'exteriorise avec une rapidité et se caractérise par le flétrissement de quelques feuilles à n'importe quel niveau de la plante, puis le dessèchement des folioles qui acquièrent une couleur gris-verdâtre. Ce flétrissement dit précoce (earlywilting) apparaît 2 à 4 semaines après le semis (Haware et al, 1986).

Quant au jaunissement vasculaire, celui-ci commence par les feuilles inférieures affecte progressivement les feuilles supérieures. Généralement, ce symptôme s'exprime plus lentement d'où la dénomination de flétrissement tardif. Il se manifeste au stade floraison-formation de gousse (Trapero et Jimenez, 1985b).

Histologiquement, les vaisseaux des plants malades présentent un symptôme interne se caractérisant par un brunissement des tissus conducteurs notamment le xylème (Nene et al, 1978). Dans la partie des organes souterrains, les plants affectés ne révèlent aucune pourriture racinaire (Trapero et Jimenez, 1986).

L'apparition des symptômes dépend de la sensibilité de la plante hôte, de la sévérité de l'infection qui augmente en présence des nématodes notamment le genre *Meloidogyne* (Mani et Sthi, 1984 ; in Haddadi, 1992) et des conditions de température. (Grewal et al, 1974 in Si Hassen, 1990)

Dans le sol, la température et la faible humidité favorisent le bon développement de la maladie. (Jiminez-Diaz et Trapro-Casas, 1986). Les symptômes se manifestent essentiellement à deux stades de la croissance de la culture.

Le flétrissement typique de cet agent causal peut être identifié en se basant sur les symptômes suivants : La maladie s'observe au bout de trois semaines après semis ; les plantules entières flétrissent se couchent sur le sol. Les jeunes plants montrent une couleur pâle, une courbure et une chute des feuilles suivie d'un effondrement de tout le plant. Une coupe verticale au niveau du collet faite du haut vers le bas, ou une coupe transversale montrent une coloration brunâtre des tissus de la tige (Nene et al, 1978). Les plantules affectées ne montrent pas de pourriture au niveau de la tige ou de la racine, cependant, lorsqu'on fait une coupe verticale dans la région descendante du collet, une décoloration brune foncé à noire, est clairement visible dans les tissus vasculaires (Haware, 1986 et Nene, 1991).



Figure 01 : Symptômes typiques et atypiques du flétrissement vasculaire du pois chiche (Patankar, 2000)

Les plantules de cultivars hautement sensibles qui peuvent être détruites dix jours après émergence, peuvent ne pas montrer une décoloration noire. Cependant, un brunissement interne de l'extrémité ascendante des racines, est clairement visible. Les plantes montrent un flétrissement typique qui peut se produire avant le stade gousse. Le pétiole, le rachis et les feuilles flétrissent, symptôme initialement visible sur la partie supérieure du plant surtout à la base du plant, Les racines des plants flétris n'extériorisent aucun symptôme de pourritures ou de dessèchement. Mais après un à deux jours, se généralise à tout le plant (Nene et al., 1991).

3. L'agent pathogène *Fusarium oxysporum*

3.1. Historique et classification

Le FO décrit par Synder et Hansen, (1940), comprend toutes les espèces, variétés et formes reconnues par Wollenweber et Reinking, (1935) dans un intra génique qui groupe la section appelée *Elegans*. D'après Booth, (1971) le FO est une espèce filamenteuse tellurique, cosmopolite et anamorphique qui inclut de nombreux pathogènes qui causent la maladie de flétrissement vasculaire chez plusieurs plantes agricoles et ornementales (Kistler, 1997). Elle se distingue des autres espèces de *Fusarium* par la production abondante de microconidies, rassemblées en fausse tête à partir de monophiliades courtes (El Aoufir, 2001).

Le genre *Fusarium* est considéré comme un faisceau d'espèces très diversifiées du point de vue morphologique. Chacune de ces espèces est représentée dans la nature par une majorité de souches saprophytes ou de parasites secondaires regroupant des formes plus ou moins spécialisées et douées d'une véritable virulence (Messian et Cassini, 1968).

Parce que le stage télomorphique de la majorité des *Fusaria* est inconnu, la taxonomie de genre *Fusarium* a été basée sur les caractéristiques morphologiques, y compris la présence ou absence de microconidies et des chlamydospores, la dimension et la forme de macroconidies, la couleur de la colonie et la structure des conidiophores (Windels, 1992). Classiquement, le genre *Fusarium* est considéré comme un Deutéromycètes appartenant à la sous-classe des Hyphomycètes et à la famille des Tuberculariacées, il fait partie de la section *Elégans* (Messian et Cassini, 1968). Actuellement, il est considéré comme un genre anamorphique affilié avec les hypocreales (Ascomycètes). En raison des étapes sexuelles (teleomorphes) aperçus chez beaucoup des espèces *Gibberella* et *Nectria* (Seifert, 1996).

Cette espèce comporte un ensemble des formes morphologiquement identiques mais présentant des spécificités parasitaires parfois très étroites. Ainsi plus de 120 formes spécialisées et races en été décrite chez *Fusarium oxysporum* parmi lesquelles la forme *Ciceri* qui cause le flétrissement vasculaire de pois chiche (Agris, 2005).

Morphologiquement cette espèce est caractérisée par un appareil sporifère du type sporodochie produisant des microconidies, des macroconidies et des chlamydospores ; ces dernières étant des formes de résistance. La forme parfaite du *Fusarium oxysporum f.sp ciceri* a été rattachée au genre *Gibberella sp* (Erwin, 1958a ; Booth, 1971).

Le *Fusarium oxysporum* est un champignon tellurique (Haware, 1990), appartenant à la famille des tuberculariacées avec des macroconidies en forme de cloissant. La systématique actuelle du *Fusarium oxysporum* est établie comme suit (Kedad, 1987) :

D'après Agrios (1997) l'agent causal du flétrissement de pois chiche *Fusarium oxysporum f.sp. ciceris* appartient à la systématique donnée ci-dessous :

Règne : Eumycota

Emb : Ascomycota

S/ Emb : Deuteromycètes

Classe : Hyphomycetes.

S/Classe : Hyphomycetidae.

Ordre : Moniliales

Famille : Tuberculariaceae

Genre: *Fusarium*

Espèces: *Fusarium oxysporum f.sp. ciceris*

Lorsque la forme parfaite est présente chez ce champignon, elle est rattachée au genre *Giberellasp.* (Messiaen et Cassini, 1968, 1971).

Certaines espèces de *Fusarium* peuvent être saprophytes mais d'autres sont pathogènes sur de nombreuses espèces de plantes causant des fusarioses vasculaires spécifique à une espèce ou une famille de plantes hôtes, d'où l'origine de la notion de forme spéciale adoptées actuellement. (Mai et Abawi, 1987).

3.2. Biologie de FOC

L'agent du flétrissement est un champignon supérieur à thalle constitué d'un mycélium hyalin et cloisonné. Sa croissance sur Potato-Dextrose-agar (PDA) à 25 C° donne des colonies blanches cotonneuses, deviennent feutrées et ridées dans les vieilles cultures ; les hyphes septes sont abondamment ramifiés. (Haware, 1990).

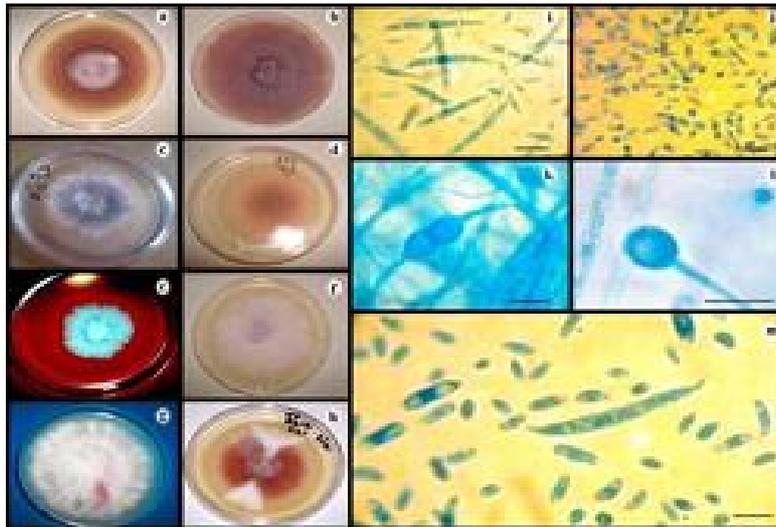


Figure 2: Variabilité de la morphologie de *Fusariumoxysporumf.sp. ciceris*(Arvayo-Ortiz et al., 2011)

Cette espèce est caractérisée morphologiquement par un appareil sporifiés de type sporodochie produisant microconidies et macroconidies. Selon Booth, (1971) la morphologie de ces espèces est un caractère majeur dans l'identification des fusarioses.

Les micronidies sont unicellulaire ou bicellulaire, portés par un conidiophore court et simple se présentant sur des hyphes. De forme variable, elles peuvent être ovales à réniformes, et droites à courbées mesurant, 2.5 à 3.5 μm -5 à 12 μm .

Les macroconidies sont moins importantes en nombre que les microconidies et sont portées sur un conidiophore court ramifié ; se formant latéralement sur un hyphe de taille variable (3 à 15 μm x 3 μm à 5 μm ; leur forme peut être ovale à cylindrique et droite à courbées, Elles sont très nombreuses et sont uni ou bicellulaire, ovales ou cylindriques, mesurent 2,5-3,5 x 5-11 μm (Booth, 1975).

Ces deux types de conidies sont généralement rares sur milieu solide et sont abondantes sur milieu liquide à base de pomme de terre. (Haware, 1990).

Les chlamydospores lisses ou rugueuses considérées comme des organes de résistance, se forment de façon solitaire ou en paire, sont formées dans les cultures âgées de plus de vingt jours. Elles sont terminales ou intercalaires, produites sur les filaments mycéliens les plus âgés ou sur les macroconidies. Elles peuvent être formées seules, en paires ou en chainettes (Haware, 1990).

L'agent responsable du flétrissement, survit dans le sol en absence du pois chiche pour plus de six ans (Haware et *al*, 1986 ; Nene, 1981). Il peut également survivre dans les chaumes et résidus, pendant plus de six ans (Nene, 1981 ; Haware et *al*, 1986 ; Haware, 1990) ; et peut être transmis par les semences (Haware et *al*. 1987).

3.3. Epidémiologie et mode de survie

Généralement, le champignon causant le flétrissement est transmis par la semence et le sol (Singh et *al*, 1987). Il peut survivre sous forme de chlamydospore au niveau du hile de la semence. En l'absence du pois chiche, il peut se maintenir sur des porteur sains tels que le maïs, le sorgho, la luzerne. (Haware et Nene, 1979) et d'autres mauvaises herbes à l'état de saprophyte, ainsi que sur les débris de culture enfouis dans le sol pour plus de six ans où il persiste sous forme de chlamydospores. (Marcia et *al*, 1983 ; Haware et *al*, 1986)

L'infection primaire se fait par une stimulation de la germination de chlamydospores qui se trouvant sur les débris végétaux ou libres dans le sol. Cette infection ainsi que la croissance du champignon disséminé sont favorisées par une température optimale qui se situe aux environs de 23 à 25°C.

Quant à l'infection proprement dite du pois chiche par ce champignon, celle-ci a lieu par une attaque du système racinaire ; l'agent du flétrissement pénètre directement par les racines, passe à travers l'épiderme et atteint les vaisseaux de xylème ou il produit abondamment des conidies. Il en résulte une obstruction des tissus vasculaires par le mycélium, induisant ainsi jaunissement et un dessèchement des feuilles, un brunissement des vaisseaux, aboutissant au flétrissement total des plants (Grewal et *al*, 1974 ; Smithson et *al*, 1985 ; Gupta et *al*, 1986).

Donc, c'est un champignon systémique qui peut être isolé à partir de toutes les parties d'un plant infecté (Nene, 1979).

Par ailleurs, la sévérité de la maladie semble augmenter en présence de nématodes notamment le genre *Meloidogyne* (Mani et Sethi, 1984).

En effet, ces auteurs ont montré que certaines variétés résistantes au *Fusarium oxysporum f.sp ciceri* deviennent très sensibles si les plantes sont inoculées à la fois avec le champignon et le nématode, précisément en présence de *Meloidogyn eincognita*.

Par contre, l'intensité de la maladie semble réduite dans les sols alcalins reconnus favorables à la croissance de la plante (Boorsma., Gupta et *al*, 1978).

Le *Fusarium oxysporum f.sp ciceri* peut également infecter d'autres espèces de légumineuses comme la fève, les lentilles et les petites pois, sans que ces plantes ne montrent de symptômes apparents (Westerlund et al, 1974 ; Haware et Nene, 1979 ; Haware et Nene, 1982a). Ces derniers jouent le rôle de porteurs sains.

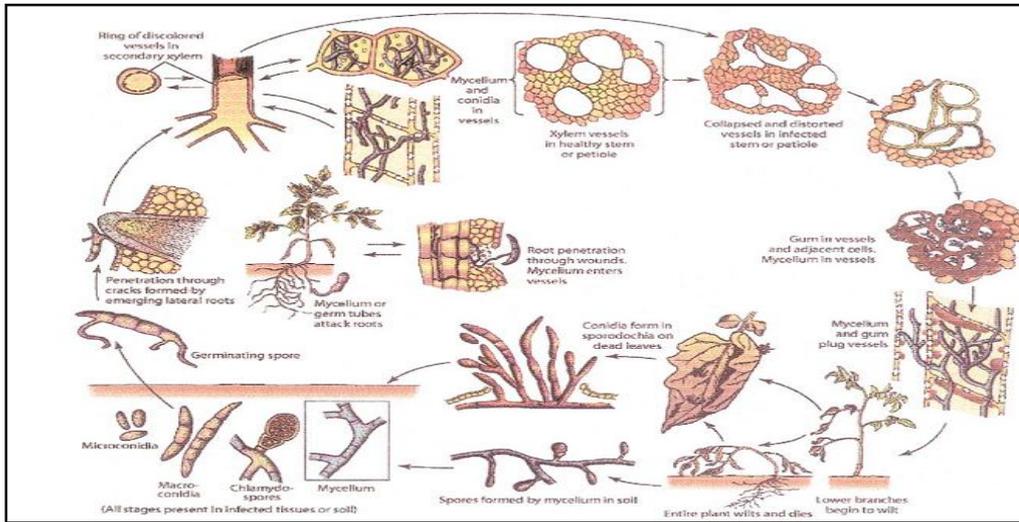


Figure 3 : cycle biologique de *Fusariumoxysporumf.sp.ciceris* (Agrios, 2005).

4. Méthodes de lutte

En général, la stratégie de lutte contre le flétrissement du pois chiche consiste à éviter le contact de la culture avec le pathogène en diminuant le nombre de ses propagules dans le sol ou en modifiant les conditions tels que : les hautes températures et la faible humidité du sol (Trapero-Casas et Jiminez-Diaz, 1986) qui favorisent le développement rapide de la maladie en jouant sur la date du semis. En pratique, d'autres méthodes de contrôle, sont conseillées.

4.1 Méthode culturales

L'agent pathogène, le FOC est un champignon tellurique, peut survivre dans le sol pour de longue durée en absence de la plante hôte et peut être hébergé chez d'autres plantes (pois, lentille) sans extérioriser des symptômes, ce qui rend impossible de contrôler la maladie par les rotations culturales (Nene et Reddy, 1987).

4.2. Lutte biologique

Plusieurs types de microorganismes capables de limiter la gravité des fusarioses ont été isolés : *Trichoderma sp.* (Sivan et Chet, 1986), souches non pathogènes de *Fusarium* (Rouxel et al, 1979 ; Garibaldi et al, 1985 ; Tramier et al, 1984, in Alabouvette et al, 1987).

4.3. Lutte chimique

L'utilisation des fongicides peut réduire l'importance de la maladie (Guptal et *al*, 1978 ; Jimenez-Diaz et *al*, 1985). En effet, Haware et *al.*, (1978, 1981) ont montré que l'inoculum porté par la semence peut être éradiqué par l'utilisation de benlate T mélange de 30 % de benomyl et 30 % de thiram.

En effet des travaux réalisés par Haware et *al.*, (1978,1981) 0.15% élimine complètement le pathogène des semences.

4.4. Résistance variétale

Selon Nene et Reddy (1987) Jimenez-Diaz et *al.* (1992), la méthode la plus pratique et efficace et économique pour le contrôle du *Foc.* est l'utilisation de cultivars résistants.

En conséquence, l'amélioration de la résistance du pois chiche au flétrissement est l'un des principaux objectifs dans le programme de sélection du pois chiche (Singh, 1987, Van Rheen et *al*, 1989) et (Jimenez-Diaz et Trapero-Casas, 1992).

Des travaux de recherche réalisés au Mexique, Espagne, Tunisie, les Etats Unis, et au centre ICRISAT ont permis de mettre au point des cultivars de pois chiche résistants au flétrissement (Haware et *al.*, 1986), à l'exception de quelques cas, les cultivars de pois chiche de type Kabuli résistant au flétrissement sont susceptibles à *l'ascochyta blight*, et les cultivars résistants à *l'ascochyta ablight* sont susceptibles au flétrissement (Jimenez-Diaz et *al.*, 1990).

Récemment, les généticiens ont réussi à développer des germplasm type « Kabuli » possédant une résistance au *FOC* par le transfert des gènes résistants à partir du type « Dési » (Rh'rib, 1990).

Malheureusement, l'occurrence de races pathogéniques les populations du *FOC* a diminué l'efficacité de cultivars résistants (Haware et Nene, 1979, Cabrera et *al*, 1985)

En effet (Haware et Nene, 1982 ; in Haware et *al* 1987, Trapero-Casas et Jimenez-Diaz, 1994) ont montré l'existence de 4 races de *FOC*(1.2.3.4.) en se basant sur interaction différentielle de 10 cultivars de pois chiche sec, plusieurs isolat pathogènes provenant de l'Inde. Par ailleurs, des travaux récents de Kumar et Haware, 1982-1987, Jimenez-Diaz et Trapero-Casas, 1994) ont révélé la résistance à la race 1 est conférée par deux allèle récessif.

En effet, Jimenez-Diaz et Trapero-Casas 1989 ; Carbera 1989 ont identifié 3 nouvelles races de ce champignon (0.5.6) dans le sud de l'Espagne et qui sont différentes des races

Indiennes, ce qui a compliqué l'avantage le contrôle du flétrissement du pois chiche par l'utilisation des cultivars résistants.

Chapitre II
Matériel et
méthodes

1. Prospections

Notre travail consiste à déterminer l'effet de quelques facteurs abiotiques sur la fusariose vasculaire du pois chiche dans le Nord Algérien. Les régions retenues pour cette étude nos prospections sont : Skikda, Guelma, Mila et Constantine (Figure 5 et le tableau 3). Ces régions ont été choisies d'une part, pour leurs grandes superficies cultivées en pois chiche et d'autre part, à la présence dans ces régions des producteurs potentiels. En plus, ces régions ont été rapportées comme étant infestées par le FOC.

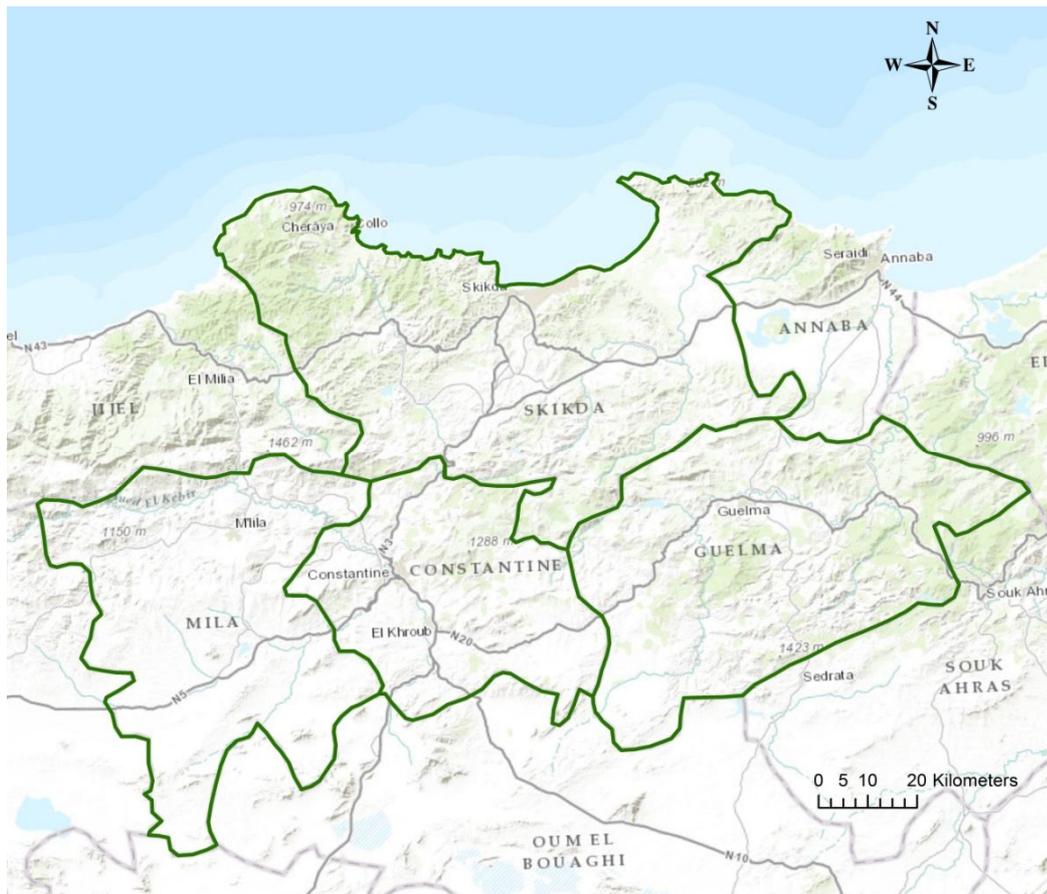


Figure 4: carte géographique représente la zone d'étude.

Originale 2016

2. Prélèvement des échantillons de sols

Les échantillons de sols utilisés pour la mise au point du test proviennent essentiellement de champs cultivés en pois chiche où des dégâts de flétrissement vasculaire ont été observés l'année 2015. Les échantillons de sols ont été collectés sur 08 sites différents localisés dans l'Est Algérien (deux sites à Skikda, deux sites à Guelma, deux sites à

Mila et deux sites à Constantine . Date du collection de prélèvement : octobre 2015) (Tableau 3). De chaque site, 90Kg de sol ont été prélevés à la profondeur de 20 à 30 cm. Chaque échantillon était mis dans des sachets étiquetés, ensuite transportés à la pépinière d'el hammadia et conservés en vue de leurs utilisation et analyses.

Tableau 3: Origine des prélèvements des échantillons de sols utilisés pour l'étude de la diversité des populations de *FOC*.

Sites	Origine
Site 1	Amedjaz atechiche (Skikda)
Site 2	Salah boulcha3our (Skikda)
Site 3	Oued Znati 1(Guelma)
Site 4	Oued Znati 2(Guelma)
Site 5	Mechta tourba(Mila)
Site 6	boudmag(Mila)
Site 7	Ouled rahmoun1(Constantine)
Site 8	Ouled rahmoun1(Constantine)

2.1. Conduite et organisation des essais

Deux expérimentations contrôlées ont été menées ; la première sous serre (*in vivo*) au niveau de la pépinière d'el hammadia et la deuxième a été réalisé au niveau du laboratoire (phytopathologie) de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers (Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.)

2.1.1. Étude sous serre (*in vivo*)

2.1.1.1. Préparation et réalisation du semis

Les grains ont été mis en germination à l'obscurité, suite à laquelle le taux de germination a été déterminé. Après la levée, les plantules sont transplantées dans des pots de 10 Kg remplis par le sol conservé dans la pépinière. Les 64 pots préparés sont répartis à raison de split plot. Dans chaque pot de semis 5 plantes ont été repiquées. Date de semis 25/12/2015 (figure. 05 et 06).



Figure 05. L'installation de l'essai dans une serre durant la période de semis.(18/01/2016)



Figure 06. photo de l'essai en plein de culture (floraison)(09/04/2016) Originale 2016

2.1.2 Étude au laboratoire (in vitro)

La deuxième expérience est réalisée au laboratoire (figure. 07), sous des conditions contrôlées

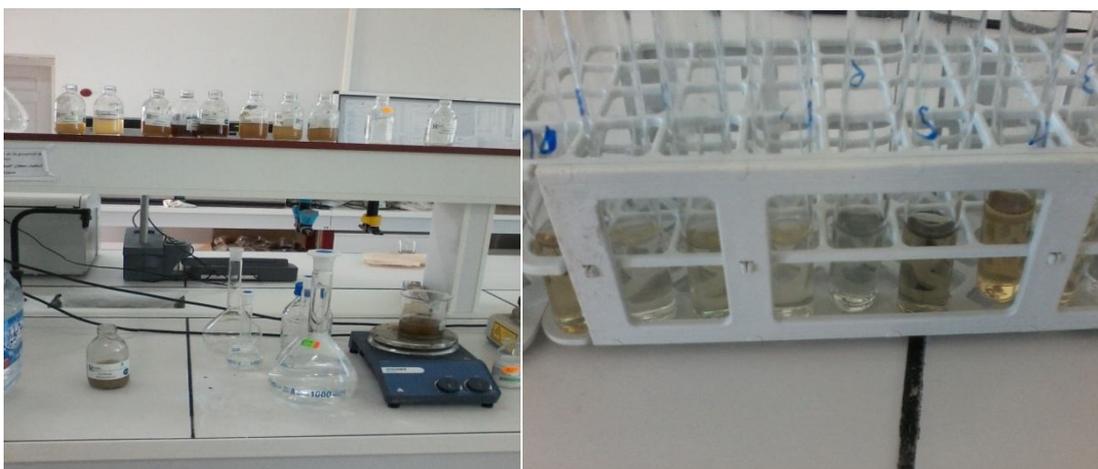


Figure 07. Photo de l'étude au laboratoire.

2.2. Caractérisation physico-chimique des échantillons de sols

Le but de cette caractérisation est d'approfondir la connaissance du milieu ainsi que de ses constituants afin de faciliter une plus correcte interprétation des résultats.

2.2.1. Préparation des échantillons de sols

L'objectif de la préparation des échantillons avant analyses est d'obtenir un échantillon représentatif. C'est souvent l'étape la plus longue et celle qui génère le plus de sources d'erreur dans la chaîne analytique. Elle comprend :

Le séchage : à une température compatible avec les caractéristiques des composants recherchés. Le séchage à l'air libre.

Le quartage : L'échantillon est divisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial.

Le tamisage : Pour éventuellement éliminer les gros fragments solides qui ne sont habituellement pas considérés comme faisant partie du sol. La fraction conservée pour analyse est généralement celle inférieure à 2 mm.

Le tamisage par voie sèche pour les sols dont les éléments sont supérieurs à 80 μ m et par sédimentation pour les éléments inférieurs ou égaux à 80 μ m. L'analyse granulométrique du sol jusqu'au diamètre de 80 μ m se fait en utilisant une série de tamis.

2.2.2. Mesure de l'Acidité du sol

Le pH exprime la concentration en ions H⁺ libérés dans la solution du sol, c'est l'acidité active ou réelle d'un sol (Aubert, 1976). La mesure du pH s'accomplit par lecture directe sur pH mètre, d'une suspension formée de 20 g de sol dissous à l'aide d'un agitateur pendant quelques minutes dans 50 ml d'eau distillée (le rapport sol/eau = 1/2,5). Après l'agitation et avant la lecture du résultat, il faut laisser la solution au repos durant 2 h.

2.2.3. Mesure de la conductivité

La conductivité électrique donne une indication sur la teneur en électrolytes hydrosolubles (salinité) et a été mesurée sur un extrait aqueux de sol (1/5 p/v) moyennant un conductimètre à électrode. Elle est effectuée après deux heures d'agitation et 5 min de repos (Aubert, 1976).

2.2.4. Mesure de l'humidité

Les échantillons sont placés pendant une nuit dans une étuve à 105°C. La différence de poids donne le taux d'humidité (Baize , 1988).

2.2.5. Dosage du calcaire total (CaCO₃)

Le principe du dosage du calcaire total est basé sur la mesure du CO₂ dégagé du calcaire (CaCO₃) se trouvant dans 0,5 g de terre fine neutralisée par 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl) (N=1/2). Ce dispositif réactionnel est appelé Calcimètre de BERNARD ou procédé gazométrique, qui est composé d'une burette pour la mesure du volume du CO₂ dégagé, d'un tube à essai pour le HCl et d'un Erlenmeyer contenant le sol.

D'après Bernard *In* Baize (1988), le taux du calcaire total est donné par le biais de la formule suivante :

$$(\text{CaCO}_3) (\%) = \frac{v}{v'} * \frac{0,3}{p} * 100$$

Où : V : volume lu sur la burette

V' : volume du témoin à blanc (fait par le carbonate de calcium)

0,3 g : Poids pour réaliser le témoin à blanc

P : poids du sol (0,5 g)

2-2.6. Détermination de la matière organique

La « perte au feu » permet de mesurer directement la matière organique dans le sol. Les échantillons sont placés pendant (4h) dans un four à moufle à 550°C. La différence de poids après calcination donne le taux de matière organique (Baize , 1988).

2.2.7. Détermination de P Olsen

Le phosphore assimilable est déterminé selon la méthode d'Olsen et *al.*, (1954). l'extraction des formes de phosphore solubles se fait grâce à la formation d'acide carbonique par dissolution de bicarbonate de sodium ; les anions orthophosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium en milieu acide pour donner de l'acide phosphomolybdique qui est réduit par l'acide ascorbique en bleu de molybdène dont l'absorbance est proportionnelle à la concentration en phosphore. À 5 g de sol, on ajoute 100 ml de NaHCO₃ 0,5 M dont le pH est de l'ordre de 8,5. Après 30 min d'agitation, la suspension est filtrée, 3 ml de ce filtrat est récupéré dans un tube à spectrophotomètre contenant 3 ml de réactif mixte :

50ml d'acide sulfurique (H_2SO_4 4 M)

15 ml de la solution de molybdate d'ammonium ($(NH_4)_6 MO_7O_{24}$)

30ml de solution d'acide ascorbique à 1.75%

5 ml de la solution de potassium et d'antimoine 0.275 % ($KSbOC_4H_4O_6$)

200 ml d'eau distillée

En a mélanger et laisser le CO_2 dégager. Après une heure, temps nécessaire pour le développement de la couleur, la lecture des résultats est effectuée par spectrophotocolorimétrie à 720 nm à partir d'une courbe d'étalonnage préalablement préparée.

2.2.8. Dosage de l'azote total

Pour le dosage de l'azote dans le sol et le végétal, nous avons utilisé la méthode de Kjeldahl décrite par Lambert (1975). Elle s'effectue en trois étapes : la minéralisation de l'échantillon, la distillation de la solution minéralisée et enfin, la titration de la solution distillée par l'acide sulfurique 0,05 N. Le dosage de l'azote total est effectué selon méthode Kjeldahl, dans laquelle l'azote des composés organiques est transformé en azote ammoniacal sous l'action de l'acide sulfurique concentré à ébullition, qui se comporte comme un oxydant et détruit les matières organiques. Pour accélérer cette transformation, on utilise un catalyseur renfermant du sulfate de cuivre, du sulfate de potassium et du sélénium. Lorsque la matière organique est entièrement oxydée, la solution de sulfate d'ammonium obtenue est récupérée et on procède ensuite au dosage. L'ammoniac est déplacé de la combinaison par la soude, distillée et récupéré dans une solution d'acide borique. Il est titré avec une solution d'acide sulfurique de normalité connue.

2.2.9. Dosage de phosphore total

Deux techniques sont principalement employées pour déterminer les teneurs globales de phosphore dans les sols. La plus connue est la méthode Kjeldahl, également employée pour doser l'azote total dans les sols. La seconde est issue de « Standard Methods for the examination of water and wastewater », édité par Greenberg, Clesceri et Eaton en 1992.

Procédure : (voir annexe 1)

3. Analyses microbiologiques

3.1. Isolement et purification de *Fusarium oxysporum*

3.1.1. Milieux de cultures utilisés

- Milieu PDA

Le milieu de culture utilisé pour l'isolement des champignons du sol c'est le milieu PDA (Potato Dextrose Agar) (Mouria et *al.*, 2013).

- 200 g pomme de terre ; 20g Agar agar ; 15g glucose ; 1000ml eau distillée

Le milieu est stérilisé à l'autoclave pendant 30 min à 120 °C.

3.1.2. Prélèvement des échantillons et méthode d'isolement

Au niveau de chaque site, après l'évaluation de l'incidence et la sévérité de la maladie, un prélèvement des échantillons à partir de chaque pot est effectué. des plantes, prises au hasard, sont testées au laboratoire.

a. Isolement à partir de la tige

La méthode d'isolement utilisée est celle décrite par Belabid et *al.*, (2000). L'isolement est réalisé à partir de la partie inférieure de la tige d'une plante qui présente les symptômes de flétrissement. Cette partie de la tige est découpée en 8 segments d'un cm de longueur. Ils sont, ensuite, placés dans une boîte de Pétri contenant le milieu PDA.

3.1.3. Purification

Les microorganismes isolés sont d'abord purifiés par deux ou trois repiquages successifs, monospore ou mono-colonie. Une fois purifié, chaque isolat est désigné par un numéro de code. La conservation des microorganismes ainsi désigné se fait au congélateur à une température de 5°C Davet et Rouxel (1997).

3.2. Identification des champignons

3.2.1. Obtention de la culture monospores

Pour étudier la variabilité culturale et pathogénique des isolats, il est nécessaire de réaliser des cultures monospores (John, 1969). L'obtention des cultures monospores est réalisée selon la méthode décrite par (Belabid, 2003). Une suspension de spores est diluée dans l'eau distillée stérile, de façon à obtenir une concentration voisine de 20 spore/ml. Une

goutte de suspension contenant généralement 2 à 5 spores est déposée et étalée en stries à la surface du milieu PDA en boîte de Pétri. Après 24 heures d'incubation à l'obscurité et à 25°C, les germinations issues d'une spore unique sont d'abord repérées, au fort grossissement de la loupe binoculaire puis prélevées stérilement et déposées séparément sur le milieu de culture PDA en boîte de Pétri.

Après deux semaines d'incubation, le comportement de chaque thalle issu de la germination des spores est observé (aspect du mycélium et pigmentation). Si tous les thalles présentent des caractères morphologiques identiques entre eux et à ceux de la culture mère, un seul est choisi pour constituer le clone représentatif de l'isolat de départ. En revanche, si différents types morphologiques apparaissent dans les colonies d'un même isolat, ils sont tous conservés comme tête de clone, étant représentatif d'une morphologie donnée et d'une éventuelle diversité génétique de l'isolat original.

L'observation des colonies est faite sept à huit jours après la mise en culture. Les colonies sont ensuite déterminées, ce qui permet d'établir la fréquence d'isolement de chaque espèce fongique pour chaque échantillon.

3.2.2 Les critères d'identification

3.2.2.1. Macroscopique

L'analyse macroscopique porte essentiellement sur les caractères culturels, la forme des colonies (arrondie, rayonnante...), l'aspect du mycélium aérien (dense, poudreux...), la couleur de la colonie dépendant fréquemment du milieu utilisé, la sporulation, ainsi que le revers de la culture qui donne une idée sur la pigmentation du milieu.

3.2.2.2 Microscopique

L'identification des espèces est réalisée par observation des caractères microscopiques sous microscope optique (mycélium, conidiophores, conidiogénèse, conidies, structures de résistance, éventuellement forme sexuée ...), après une série de repiquages successifs jusqu'à purification du champignon, en utilisant le bleu de coton comme liquide de montage et on se réfère à différentes clés de détermination : Gilman (1957) ; Barnett (1960) ; Ellis (1971) ; Ellis (1976) et Domsch *et al.*, (1980).

3.3. Etude du pouvoir pathogène des isolats du FOC

3.3.1. Préparation de l'inoculum et obtention des plantules

La technique de préparation de l'inoculum de *FOC* est décrite par Belabid et *al*, (2000). La concentration de la suspension sporale est ajustée par dilution avec de l'eau distillée stérile afin d'obtenir une concentration de 10^6 microconidies/ml.

L'agressivité des isolats de *FOC* a été évaluée suite à l'inoculation de la variété ILC-482, connue pour sa sensibilité au *FOC* (Jiménez-Díaz *et al*, 1989). Cette variété nous a été fournie par l'ITGC de Saïda (Institut Technique des Grandes Cultures – Algérie). Les graines de cette variété sont désinfectées et semées dans des pots (3 graines par pot) contenant un mélange de 2 volumes de sol et 1 volume de tourbe stérilisé auparavant à 100°C pendant 24 heures. Les pots sont placés dans le laboratoire et arrosés une fois par semaine.

3.3.2. Inoculation

Les plantules sont inoculées au stade des deux premières feuilles (8 jours après le semis) à raison de trois répétitions par isolat et trois plantules par pot. La technique d'inoculation consiste à déterrer soigneusement les plantules et à plonger le système racinaire pendant 30 min dans la suspension sporale. Les plantules inoculées sont ensuite transférées dans des pots en matière plastique contenant 150g de substrat stérilisé (1 volume de tourbe pour 2 volumes de sable) à raison de 3 plantules par pot. L'incubation des plantules inoculées est effectuée dans les mêmes conditions que précédemment. Neuf plantules témoins sont maintenues dans les mêmes conditions après immersion de leurs racines pendant 30 minutes dans un broyat de milieu PDA stérile.

4. Exploitation des résultats et analyses statistiques

La sévérité de la maladie peut être définie comme la région ou le volume de tissu de la plante qui est (visiblement) malade, habituellement relatif au tissu de la plante total. C'est une variable continue, typiquement limité par 0 et 1, et une mesure de la qualité de plante le tissu, pas le nombre d'unités de la plante affecté (Madden et *al*, 1999). Pour l'évaluation de la sévérité des symptômes provoqués par la maladie nous avons adopté l'échelle de Trapero-Cassas, (1983):

0 : pas des symptômes ;

1 : Jaunissement au flétrissement du 1/3 de la plante ;

2 : Jaunissement au flétrissement du 2/3 de la plante ;

3 : Symptômes identiques affectant la plante entière et 4 : Plante morte.

Pour estimer l'indice de la sévérité moyenne (*ISM*) a été calculé pour chaque parcelle à l'aide de l'équation suivante :

$$ISM = \frac{\sum n_j \cdot x_i}{\sum n_j}$$

Où n_j est le nombre de plantes caractérisées par l'indice.

x_i est l'indice de gravité de la maladie attribué aux plantes.

4.1. Calcul de l'Indice de Flétrissement (*DII*)

L'incidence *I* et la sévérité *S* sont utilisés pour le calcul l'index de l'intensité de la maladie *DII* où

$$DII = S \text{ ou } (ISM) \times I / 4$$

4.2. Calcul de l'AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve)

La région sous la courbe du progrès de la maladie (*AUDPC*) est une méthode d'analyse qui permet de résumer les données de l'intensité de la maladie, en une seule valeur. Cette valeur est indispensable pour la comparaison entre les différentes épidémies à travers les années, les emplacements, ou les stratégies de la gestion (Cook, 2006). Cependant, cette méthode est utile pour la description, l'estimation et la comparaison entre les épidémies causées par le FOC (Navas-Cortes *et al*, 2000). L'*AUDPC* est calculé en utilisant la formule suivante :

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n [(x_{i+1} + x_i) / 2] (t_{i+1} - t_i)$$

Où x_i = la proportion des tissus ou le nombre de plantes malades à toute une seule mesure (intensité de la maladie) à l'observation i ;

t : temps (jours) après l'inoculation à l'observation i ;

n : le nombre total d'observations.

La somme de régions individuelles trapézoïdes, ou régions de i à $n-1$. i et $i + 1$ représente des observations de 1 à n .

Les mesures des caractéristiques épidémiologiques (*I*, *S*, *DII*,) sont soumises à des analyses de variance, chaque variété étant représenté par trois répétitions pour un seul variable (variété) et deux variables (variété climat).

4.3. Analyse statistique

Quatre répétitions sont retenues pour chaque facteur étudié. Les données sont traitées par une analyse de la variance suivie d'une comparaison des moyennes par le test des moyennes par le test de Newman et Keuls à 5 et 1%. L'analyse statistique a été faite avec une procédure générale des modèles linéaires avec STATISTICA 7.

Chapitre III
Résultats et
discussion

I. Résultats

1.1. Caractérisation physicochimique des sols des différents sites expérimentaux

Afin de caractériser le sol initial de chaque site multi local vis-à-vis de la variabilité pédologique, les principales caractéristiques physico-chimiques qui déterminent le gradient de la fertilité du sol sont mesurées dans chaque site. Les différentes caractéristiques physico-chimiques sont représentées dans le tableau4.

D'après le tableau, l'ANOVA a montré que la variabilité spatiale des huit sites expérimentaux a un effet très hautement significative ($p < 0,001$) sur la granulométrie du sol. Le taux de l'argile le plus élevé est noté au niveau du S1 (14,21%). Cependant, le taux le plus élevé en sable est observé dans le site S5 (90,76%). Il est très important de signaler que la majorité des sites sont de types sableux-argilo limono.

La différence de la teneur en calcaire entre les huit sites est très hautement significative ($p < 0,001$), ainsi que le taux le plus élevé de calcaire est constaté avec le site S 8 avec une moyenne de 25,95%. Par contre le taux le plus faibles est enregistré dans le S4 avec une valeur de 4,87%.

L'analyse de la variance des valeurs de pH mesurées montrent des différences non significatives ($p < 0.0001$) selon la variabilité locales des sites étudiés. Des valeurs de pH proches entres elles ont été obtenus lors des analyses effectuées. Elles sont variées entre 7,84 comme une valeur faible et 8,31 comme une valeur élevée (figure 10).

Le tableau 4 représente les variations de la CE des sols dans les différents sites expérimentaux. L'analyse ANOVA a montré une différence hautement significative entre la CE et la variabilité locales des sites étudiés. Les valeurs mesurées de CE présentent des différences suivant l'échantillon du sol et les analyses statistiques sont les classes conformément au tableau. La plus grande valeur de la CE est de 162 a été noté dans le site S3. En revanche, la plus faible est de 130,78 enregistrée dans le S5.

Selon l'ANOVA une différence très hautement significative ($p < 0,001$) est observée dans le teneur du sol en N, P et en P-assimilable. La teneur en azote total varie entre 1,45 mg.kg^{-1} représente la fréquence la plus faible et 2,55 mg.kg^{-1} représente la valeur la plus élevée est constatée dans les sites S8. En outre, la valeur de P- assimilable varie de 3,49 et 37,98 mg.kg^{-1} . La valeur élevée a été notée dans le site S1. Par contre, la valeur faible a été obtenue dans le S4.

Tableau 4 : Propriétés physico-chimiques du sol des sites expérimentaux. Les valeurs représentent la moyenne de 4 répétitions \pm SE (Erreur standard). Les lettres indiquent une différence significative entre les moyennes à $p < 0,01$.

Site	sable (%)	limon (%)	Argile (%)	H (%)	pH	CE	P-total (g kg ⁻¹)	P- assimilable (mg kg ⁻¹)	Azote (g kg ⁻¹)	Calcaire totale (%)	Matière organique (%)
S1	67,68 g	18,11 b	14,21 a	13,48 a	7,91 de	139,45 b	184,49 d	37,98 a	1,45 f	8,25 e	2,13 a
S2	89,68 ab	7,21 e	3,11 d	5,28 c	7,84 e	134,35 b	226,68 b	6,93 c	1,52 f	5,37 f	0,96 c
S3	76,14 e	13,99 c	9,87 b	10,83 b	7,92 d	162,00 a	203,17 c	9,86 b	2,21 c	23,51 b	1,82 b
S4	71,75 f	19,37 a	8,89 b	10,58 b	8,02 c	139,75 b	177,15 e	3,49 e	2,50 a	4,87 f	1,84 b
S5	90,76 a	6,33 f	2,91 d	11,25 b	8,31 a	130,78 b	188,69 d	8,61 b	2,32 b	23,62 b	1,61 d
S6	89,12 b	7,16 e	3,72 cd	10,48 b	8,07 c	138,35 b	202,16 c	6,93 c	1,93 d	19,92 c	1,69 c
S7	87,28 c	10,53 d	3,92 cd	10,85 b	7,92 d	155,03 a	251,90 a	5,34 d	1,78 e	15,16 d	1,84 b
S8	84,48 d	10,86 d	4,67c	10,40 b	8,15 b	157,25 a	177,18 e	6,21 cd	2,55 a	25,95 a	1,64 cd

Les valeurs de P-total constaté dans les huit sites expérimentaux sont variables. D'après le tableau en remarque que le taux le plus élevée eu P-total est enregistré dans le site S7 (251,90 mg.kg⁻¹). Par contre, le taux le plus faible est constaté dans le S4 (177,15 mg.kg⁻¹).

1.2. Concentration du P total dans la rhizosphère

La figure 8 montre les variations de la teneur de phosphore total dans la zone rhizosphérique de la culture de pois chiche dans les différents sites expérimentaux. Selon l'ANOVA les résultats montrent un effet hautement significatif dans tous les sites expérimentaux en semis et en jachère.

L'analyse des résultats obtenus montre une diminution significative du taux de phosphore total dans les différents sites expérimentaux en semis et en jachère. Cependant, une diminution très importante a été constatée dans les sites en semis comparé avec ceux de la jachère. La lecture des résultats, montre également, une diminution allant de 23,98% jusqu'à 48,84% dans le semis et 29,12% jusqu'à 49,30% en jachère. Les valeurs les plus élevées de diminution ont été constatées dans les sites S2 et S7 avec des teneurs environ de 48,84% et 46,62% respectivement. Cependant, les valeurs les plus faibles ont été notés dans les sites expérimentaux S3 (23,98%) et le S5 (29,27%).

1.3. Concentration du P (Olsen-P) assimilable dans la rhizosphère

La concentration en P assimilable, dite P-Olsen, est mesurée dans la rhizosphère du pois chiche (figure 8) afin qu'elle soit comparée à celle du sol bulk (témoin). Les teneurs en P-Olsen de chaque site expérimental sont très variables. La concentration de P-Olsen est mesurée dans le sol bulk avant le semis et après la récolte. Dans les Sites, S3, S4, S5, S7 et S8 les concentrations en P-Olsen dans la rhizosphère augmentent significativement par rapport à celles du sol bulk pour les mêmes sites qui ont connus une régression très importante dans le taux en P-Olsen. Le site S1 et le site S3 ont présenté une augmentation la plus importante. Cette dernière augmentation est estimée comme étant deux fois supérieure comparativement aux concentrations du P-Olsen du sol initial. Dans le sol témoin une diminution avec un taux de 1,25% à été constaté dans le sol rhizosphérique de S3. Par contre, une augmentation 2 fois plus a été constaté dans le sol jachère de site S4. Les sols rhizosphériques de S7 et S8 ont démontré aussi une augmentation significative de taux de p-Olsen dans les semis comparés avec le témoin. Les résultats obtenus montrent une augmentation de 4,94% pour le S7 et 33,06% pour le S8. En comparant ces valeurs avec les sols témoins en remarque une augmentation de 61,03% dans le S7 et 18, 03% dans le S8.

Les plus faibles des teneurs en P assimilable dans la rhizosphère sont observés dans le S7 et le S6, avec des pourcentages de 11, 52% et 11,12%. Une diminution très importante a été observée chez le sol rhizosphérique de S1 environ 76,43%. Par contre, une augmentation dans le p-olsen dans le S6 avec un taux de 23, 04%.

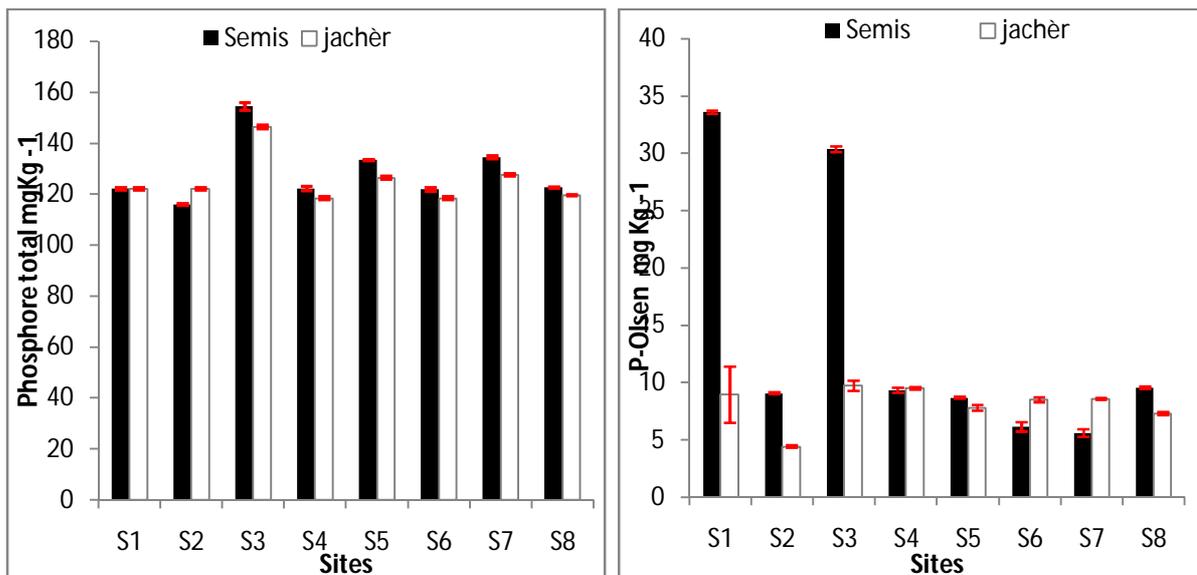


Figure 8: variation de P-total, P-Olsen dans les huit sites expérimentaux dans les semis et la jachère.

1.4. Le phosphore total prélevé par les plantes

Le P contenu dans la partie aérienne et les racines ainsi que le P total prélevé dans les huit sites, sont présentés dans la figure 9. D'après l'ANOVA, le site affecte significativement la concentration du P dans la partie aérienne ($p < 0,01$). Les teneurs en P total prélevé par la culture de pois chiche est variable selon le site. La lecture des graphes mentionnés dans la figure 9 montre également que la concentration la plus élevée de P et les fortes teneurs de son prélèvement sont enregistrées dans les plantules des Sites S1, S2 et S3 qui varie entre $104,96 \text{ mg kg}^{-1}$ et $149,19 \text{ mg kg}^{-1}$. Tandis que, un taux moyen a été prélevé par les plantules des sites, S5 et S7 environ $98,71 \text{ mg kg}^{-1}$ et $96,46 \text{ mg kg}^{-1}$. En revanche, les concentrations les plus faibles sont notés dans les sites S4 et S8.

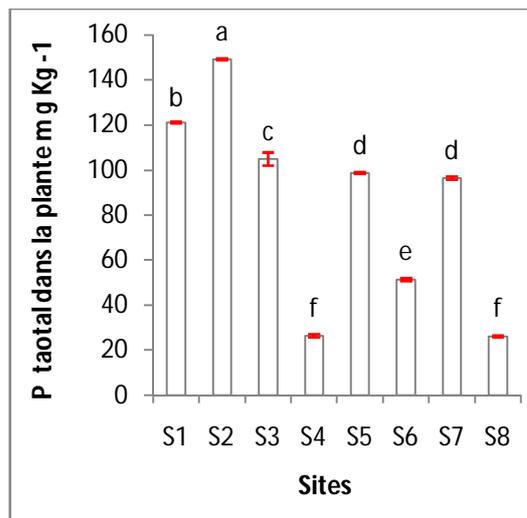


Figure 9 : variation de P-total dans les huit sites expérimentaux après récolte.

1.5. Concentration de l'azote total dans la rhizosphère

La figure 10 représente la concentration de N dans les sols de la rhizosphère des différents sites expérimentaux. Selon l'ANOVA, les différents sites ont révélés un effet hautement significatif ($p < 0,00001$) soit en jachère soit en semis A cet effet, les concentrations de l'azote augmentent considérablement dans la totalité des sites expérimentaux sous l'effet des rhizobiums symbiotiques. Les concentrations en N ont été augmentées trois fois plus chez les sites S4, S7 et S8. En outre, l'augmentation la plus faible est enregistrée dans le S1 (27,13%) S2 (36,58%) et S3 (32,16%).

Par contraste, une diminution significative a été constatée dans la majorité des sites expérimentaux sous l'effet de jachère, sauf exception le site S7. Cette diminution est variée entre 3,76% dans le site S6 jusqu'à 27,13% dans le site 1.

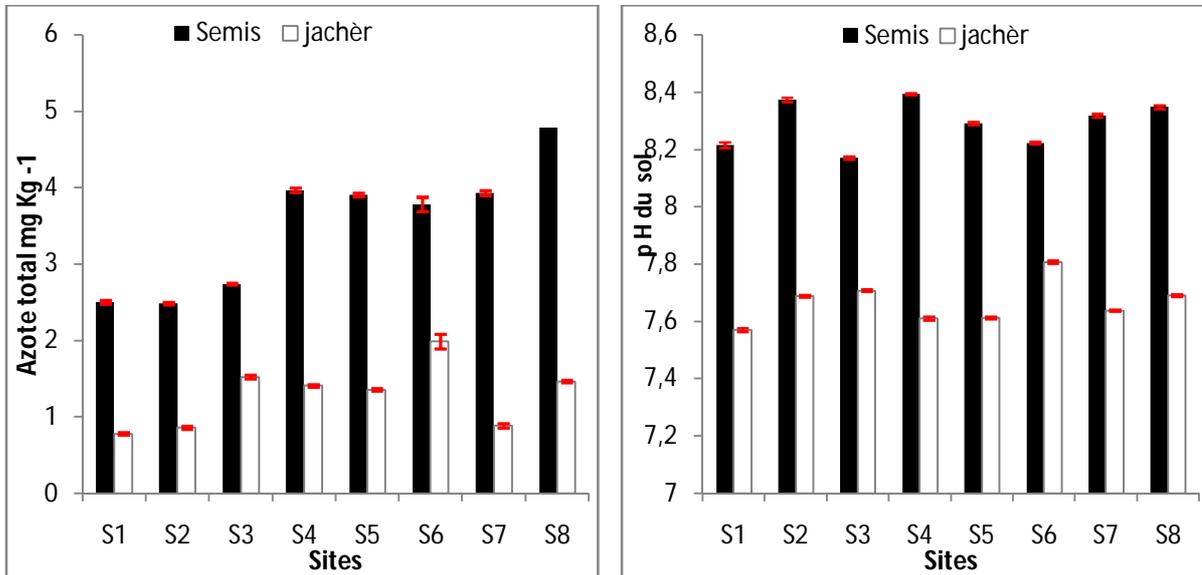


Figure 10: variation d'Azote total et le pH dans les huit sites expérimentaux dans les semis et la jachère.

1.6. L'azote total prélevé par les plantes

Chez le pois chiche, la concentration de l'azote total de la partie aérienne, est significativement modifiée ($p < 0,05$) par site expérimental. L'analyse de données affichées dans la figure 11 met en évidence que les sites S3, S4, S7 et S8 ont également la teneur la plus élevée en azote total. Ces valeurs sont variables entre $2,15 \text{ mg kg}^{-1}$ dans le S4 et $2,85 \text{ mg kg}^{-1}$ dans le S8. Par contraste, les taux les plus faibles sont enregistrés dans le reste des sites. A cet effet, les valeurs affichées se varient entre $0,77 \text{ mg kg}^{-1}$ dans le S1 et $1,48 \text{ mg kg}^{-1}$ dans les plantules de S2.

Une corrélation négative a été constatée entre l'azote prélevé par la plante ($r = 0,63$) et la gravité de la maladie. Des valeurs faibles en azote ont été observées chez les plantules de S1 ($0,77 \text{ mg kg}^{-1}$), S2 ($1,10 \text{ mg kg}^{-1}$) et S6 ($1,48 \text{ mg kg}^{-1}$), dont des valeurs élevées de l'AUDPC ont été notés dans les mêmes sites 408, 14098,5 et 2544,5 respectivement. Par contraste, l'azote prélevé par les plantules des sites S8, S6 et S4 sont de $2,85 \text{ mg kg}^{-1}$, $2,26 \text{ mg kg}^{-1}$ et $2,15 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivement. Cependant, les valeurs de l'AUDPC dans les mêmes sites sont de 1229, 1372 et 1330, ces valeurs sont jugées faibles.

Parallèlement à l'azote le p-total prélevée par la plante a montré une corrélation positive ($r=0.56$) avec la gravité de la maladie. L'augmentation de p-total dans la plante augmente significativement la valeur de l'AUDPC. Ceci est montré particulièrement dans les sites S1 (4081), S2 (4098) et S3 (1438) dans les taux de p-total enregistrés dans les mêmes sites sont environ $121,45 \text{ mg kg}^{-1}$, $149,19 \text{ mg kg}^{-1}$ et $104,96 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivement. Par contre, des valeurs de l'AUDPC faibles ont été noté dans les sites S4 et S8, où les taux de p-total sont aussi faibles environ $26,24 \text{ mg kg}^{-1}$ et $96,46 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivement

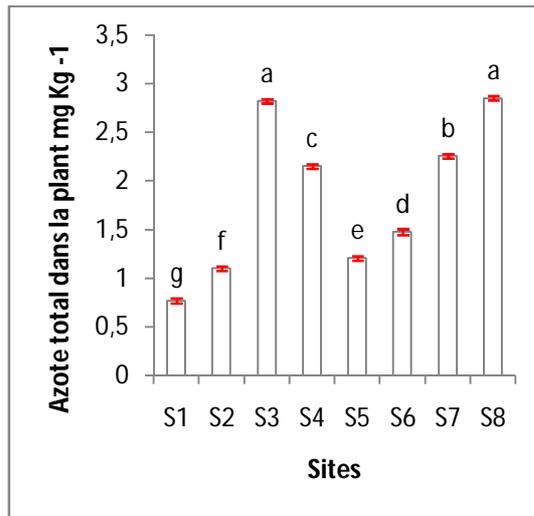


Figure11 : variation de l'azote dans les huit sites expérimentaux après récolte.

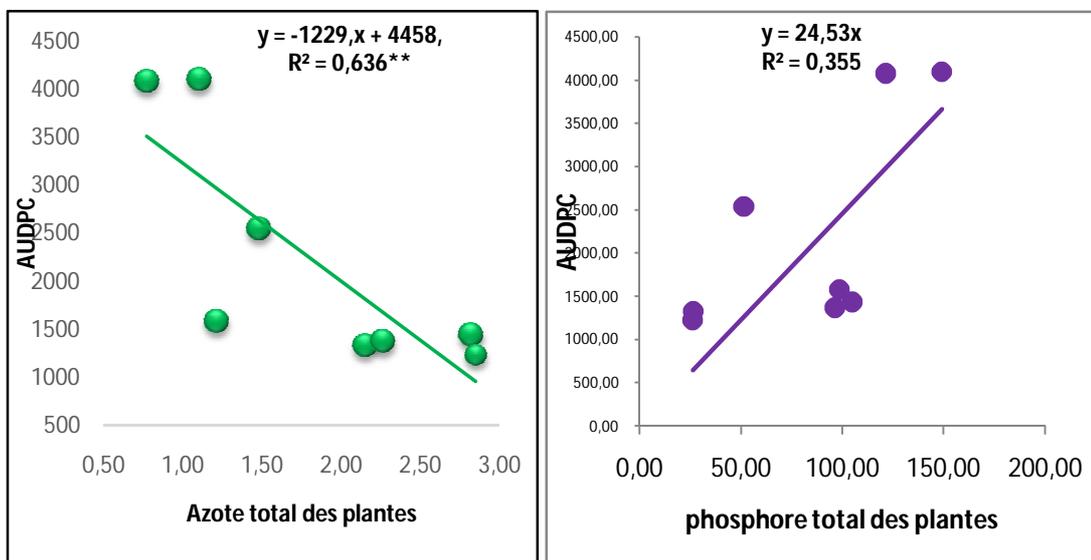


Figure12 : Relation entre les teneurs en P-total et l'azote total dans la plantes et les valeurs de l'AUDPC .

1.7. Effet de phosphore total du sol

Les analyses ANOVA effectuées ne montrent aucune corrélation entre le p-total sur la gravité de la maladie. L'analyse des résultats obtenus a montré que la déficience de sol en P augmente significativement les valeurs de l'AUDPC. L'analyse effectuée dans les parcelles S1 et S2 a également montré des valeurs faibles de P-total 122 mg kg⁻¹ et 115 mg kg⁻¹ respectivement. Cependant, les valeurs de l'AUDPC montrées élevées 4081 et 4098 respectivement. Par contre, les valeurs de P-total enregistrées dans les sites S3 et S7, sont élevées 154 mg kg⁻¹ et 134 mg kg⁻¹. Cependant les valeurs de l'AUDPC sont faibles 1438,5 et 1372.

1.8. Effet de phosphore assimilable

Une corrélation positive a été suggérée entre le taux de phosphore assimilable et la gravité de la maladie représentée par la valeur de l'AUDPC. En effet, l'AUDPC sont observés dans le site S1 (4081) et S3 (1438) dans le taux de p-Olsen sont les plus élevées 33,60 mg kg⁻¹ et 30,37 mg kg⁻¹ respectivement. Par contre, des valeurs faibles de l'AUDPC de la maladie ont été constaté les sites S5, S7 et S6. Cependant, les concentrations faibles en p-Olsen ont été trouvées dans les mêmes parcelles environ 9,56, 5,62 et 6,16 mg.Kg⁻¹.

1.9. Effet de l'azote du sol sur la maladie

L'analyse ANOVA de l'effet de la teneur du sol en azote a montré un effet hautement significatif sur tous les facteurs épidémiologiques quantitatifs de la fusariose vasculaire du pois chiche mesurés dans les huit parcelles emblavées par la culture du pois chiche. D'après l'ANOVA, le taux de l'azote affecte significativement les valeurs de l'AUDPC. Une corrélation négative ($r = -0,7392$) a été constatée, dont le taux élevé de l'azote diminue significativement la valeur de l'AUDPC plus particulièrement dans les sites S7, S8 et S3. Les analyses portées sur le taux de l'azote dans ces derniers ont montré un taux de 4,91 mg kg⁻¹, 3,93 mg kg⁻¹ et 3,96 mg Kg⁻¹ respectivement. Cependant, les valeurs de l'AUDPC dans les mêmes sites sont de l'ordre de 1372, 1229, 1330. Par contre, une augmentation de la valeur de l'AUDPC a été observée dans les sites S1 et S2, dont le taux de l'azote est inférieur varie 2,50 mg kg⁻¹ et 2,49 mg .Kg⁻¹ respectivement.

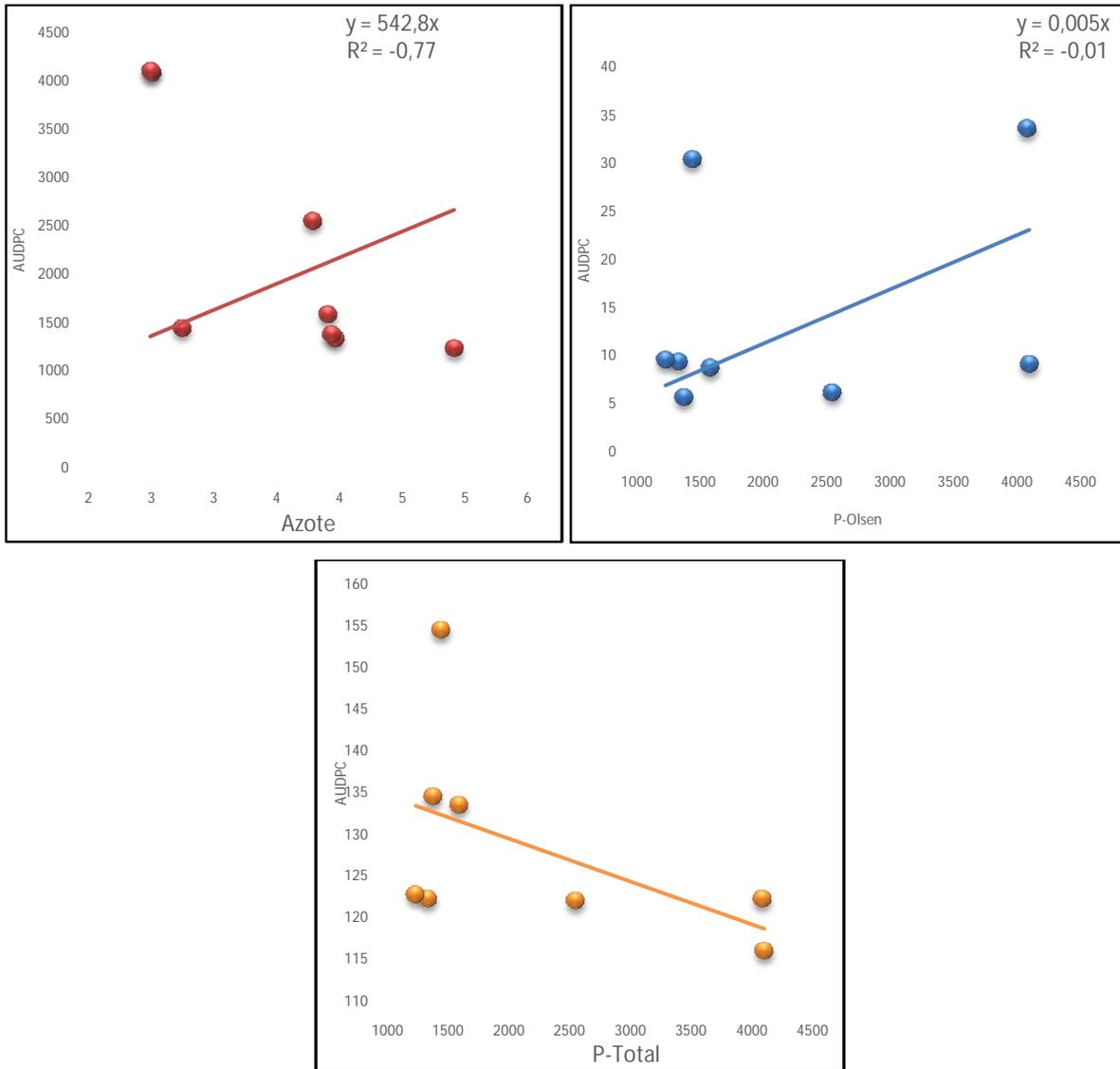


Figure 13: Relation entre les teneurs en P-Olsen P- total et l’azote total dans la rhizosphère et les valeurs de l’AUDPC .

2. Analyse de l’effet de la maladie sur la culture de pois chiche

2.1. Description des Symptômes

Les différents types de symptômes sont présentés dans la figure 14. Les observations sous serre ont montré que les symptômes apparaissent sous deux formes de plantes flétries ou desséchées. En cas d’attaque précoce, les plantes sont affaissées sur le sol tout en gardant une couleur verte terne. Les plantes montrent des symptômes typiques de flétrissement apparaissant initialement sur la partie foliaire supérieure puis gagnent rapidement toute la plante. Ce phénomène se traduit ultérieurement par la mort des plantes. En cas d’attaque

tardive, les plantes montrent les symptômes atypiques de la maladie, où un jaunissement partiel touche préalablement la partie inférieure de la plante, puis progresse vers les parties intermédiaires et supérieures. Ces deux types des symptômes observés, sont accompagnés d'une chute des folioles.

Dans tous les cas, le système racinaire, examiné avant le dessèchement total de la plante, montre un aspect sain sans pourriture visible, mais avec une réduction du système racinaire. Toutefois, une coupe longitudinale ou transversale au niveau du collet montre une décoloration du système vasculaire. Cette décoloration est souvent moins nette chez les plantes ayant subi une attaque précoce.



Figure 14: Symptômes typiques et atypiques de flétrissement vasculaire du pois chiche ; a – symptômes de jaunissement sur les parties inférieures de la plante b – symptômes de flétrissement sur les parties supérieures de la plante c – symptômes sur les gousses (gousses vides) d – système racinaire réduit (personnelle 2016)

Durant le stade de formation et remplissage des gousses, les symptômes manifestés sur les gousses et les graines formés par les plantes malades, affectent leurs qualités et leurs quantités. Les gousses issues des plantes malades, sont peu nombreuses, très petites, et se vide.



Figure 15 : Système racinaire avec différents type de nodosités (personnelle 2016)

2.2. Analyse quantitative de la maladie

Lors des observations effectuées durant cette étude, on a constaté que tous les sites testés dans les essais ont exprimé les symptômes de flétrissement et de jaunissement, mais avec une variation de l'incidence, de la sévérité et par conséquent sur la gravité de flétrissement vasculaire de pois chiche. Les résultats obtenus montrent également l'absence des symptômes dans le stade plantule, ou leur apparition avec des très faibles incidences avec une valeur moyenne. Néanmoins, les stades floraison, formation et remplissage des gousses, ont connu une évolution exponentielle de la fréquence de la maladie. . D'après l'ANOVA, les valeurs de l'AUDPC calculées ont montré un effet très hautement significatif ($p \leq 0.001$). Ce dernier effet a été expliqué par la séparation très nette des différents groupes. L'analyse des données a permis de distinguer 3 groupes différents. Le premier groupe constitué par le S1 et le S2, caractérisé par des valeurs très élevées de l'AUDPC environ 4081 pour le S1 et 4098,5 le S2.

Ceci est traduit par une maladie très grave. Le deuxième groupe est composé de site S6 avec une valeur intermédiaire de l'AUDPC égale à 2544,5 montre également que la maladie grave. Cependant, le reste des groupes forment le reste des sites, où les valeurs de l'AUDPC sont plus au moins inférieures à 1500, ceci est expliqué par un effet peu grave de la maladie sur la culture de pois chiches. On constate que le site S4, S7 et S8 ont prononcé les valeurs les plus faibles de l'AUDPC 1300, 1372,0 et 1229,0 respectivement.

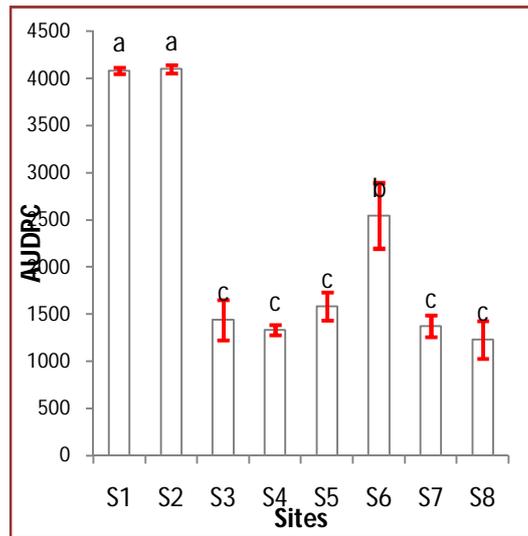


Figure 16: valeurs de l'AUDPC dans les différents sites. Les données sont les moyennes de 4 répétitions \pm ES.

3. Variation de la croissance, de la nodulation et du rendement en grains

Les résultats illustres dans la Figure17 montrent que les paramètres de croissance et de production varient considérablement en fonction du site. Une différence hautement significative remarquée entre les huit sites étudiés ($p > 0.0001$) concernant les paramètres de croissance et de production à savoir, le poids de la matière sèche et les poids de nodules et le rendement.

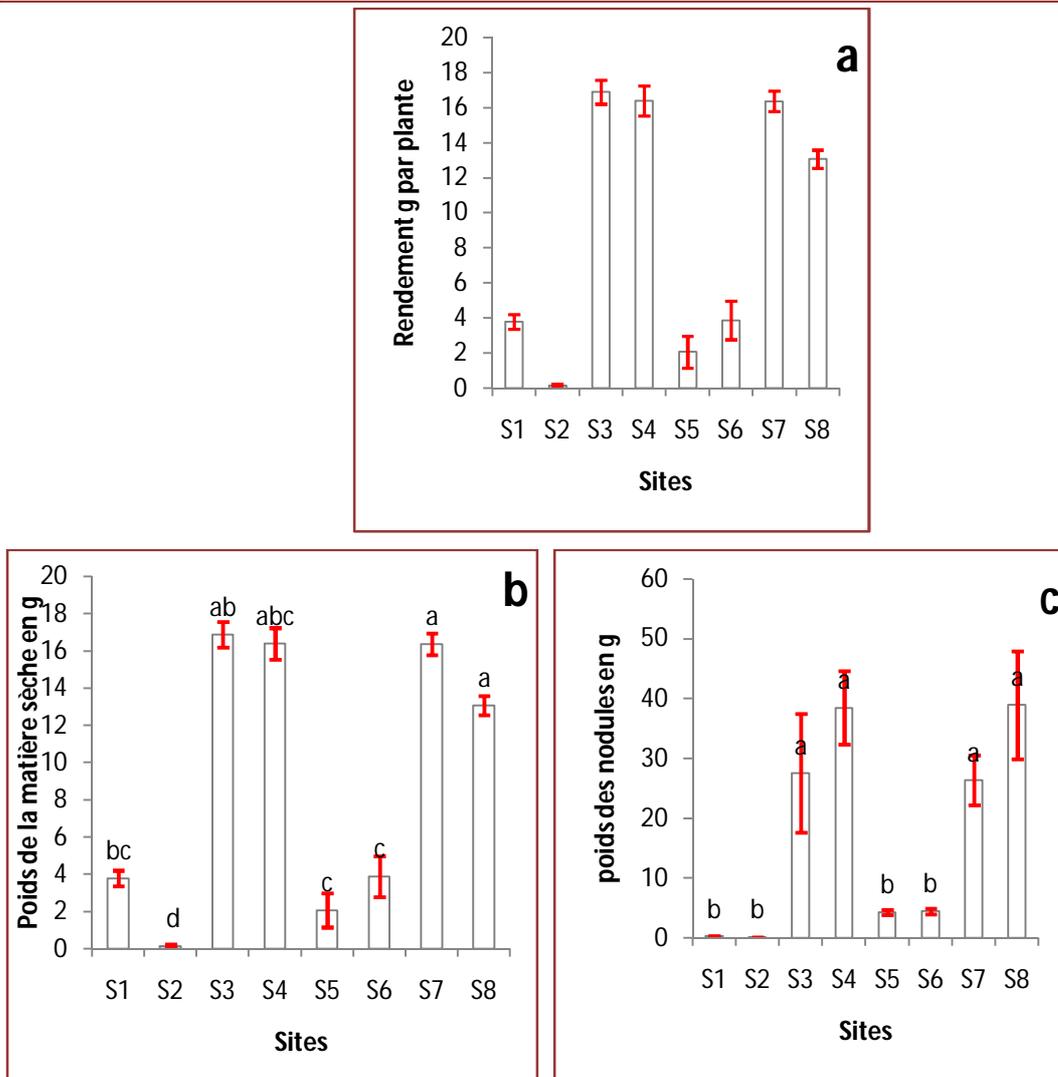


Figure 17: Rendement en grains (a), poids de la matière sèche (b) et des nodules (c) dans les différents sites. Les données sont les moyennes de 4 répétitions \pm ES. Différence significative à $p < 0,05$ et $p < 0,01$, respectivement.

La Figure 17 montre la variation du rendement en réponse aux différents types de sites expérimentaux. L'analyse des données montrent également un rendement très faible dans les quatre sites S1, S2, S5 et S6, avec une valeur de production qui varie entre 0,1g et 3,9g. En revanche, un rendement plus au moins important a été constaté dans les autres sites avec un rendement qui s'étale entre 13,1g dans le S 8 et 16,9g dans le S3.

Parallèlement, le poids sec de la biomasse sèche totale a noté une variabilité importante entre les sites. Le poids sec de la biomasse varie entre 0,9g et 2,3g. Cependant, la plus faible a été notée dans S2 et la plus élevée dans S3.

Le poids sec des nodules du pois chiche dans les huit sites, est rapporté dans la figure 17. Un très faible poids a été constaté dans les sites S1 et S2 0,3 g pour chaque site. Alors, ces

valeurs sont assez faible dans les sites S5 et S6 environ 4,3g et 4,4 g respectivement. Dans les sites S3, S4, S7, S8 ce paramètre augmente considérablement. Cette augmentation est de l'ordre de 38,9g dans S8 et 38,5g dans S4.

3. 1. La relation entre le rendement, la nodulation et la maladie

Pour évaluer la relation entre le rendement en grains, le poids sec des nodules et les valeurs de l'AUDPC, la courbe de la régression de la corrélation entre ces paramètres est étudiée dans les huit sites expérimentaux (Figure18).

Des corrélations négatives entre les valeurs de l'AUDPC et la biomasse des nodules ($r=-0,78$) ainsi que la matière sèche ($r=0,73$) sont enregistrées généralement dans les différents sites. L'analyse des données montre également l'augmentation de poids de nodules diminue significativement le taux de l'AUDPC. Ce résultat a été constaté dans les sites S8 (38,9g) et S7 (26,4g) dont les valeurs de l'AUDPC enregistrées sont 1229 et 1372 respectivement. Ces valeurs deviennent très élevées 4081 et 4098 dans les sites S1 et S2 respectivement, sachant que le poids de la nodosité dans les mêmes sites sont de 0,3g pour chaque site.

3. 2. La relation entre le poids de la matière sèche et la maladie

Le poids de la matière sèche diminue significativement avec l'augmentation de l'AUDPC. Cette constatation a été remarqué dans les sites S1 (4081) et S2 (4098) dans le poids estimé de 1,8g et 0,9 g respectivement. A l'opposé, dans les sites S7 et S8 ces valeurs devenues moins lorsque 2,3g et 2,2g lorsque les valeurs de l'AUDPC sont de 1229 et 1372 respectivement.

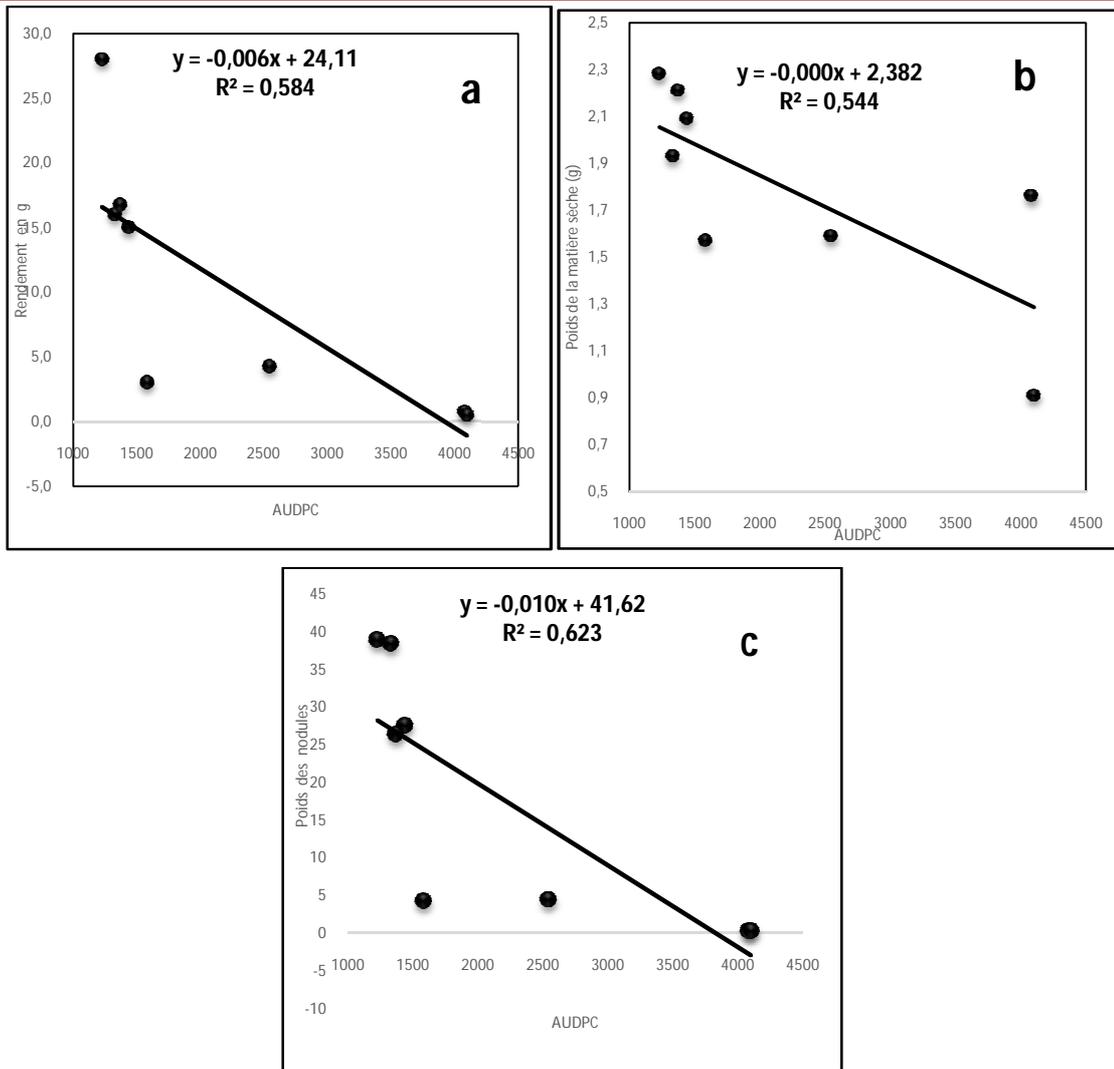


Figure 18: Relation entre les facteurs de (production, croissance) et les valeurs de l’AUDPC : Rendement (a) , biomasse sèches (b), des poids des nodules (c).

4. Isolement, identification et pathogénicité des isolats de *Fusarium oxysporum*

Les isolements effectués à partir de tiges de pois chiche, montrent surtout la dominance des espèces appartenant au genre *Fusarium oxysporum*. L’analyse quantitative des champignons isolés à partir des tiges montre effectivement une dominance de l’espèce de *F. oxysporum* avec un pourcentage de 90,14 %. Cependant, une faible apparition pour le *F. solani* (2%) et les autres espèces (0.2%).

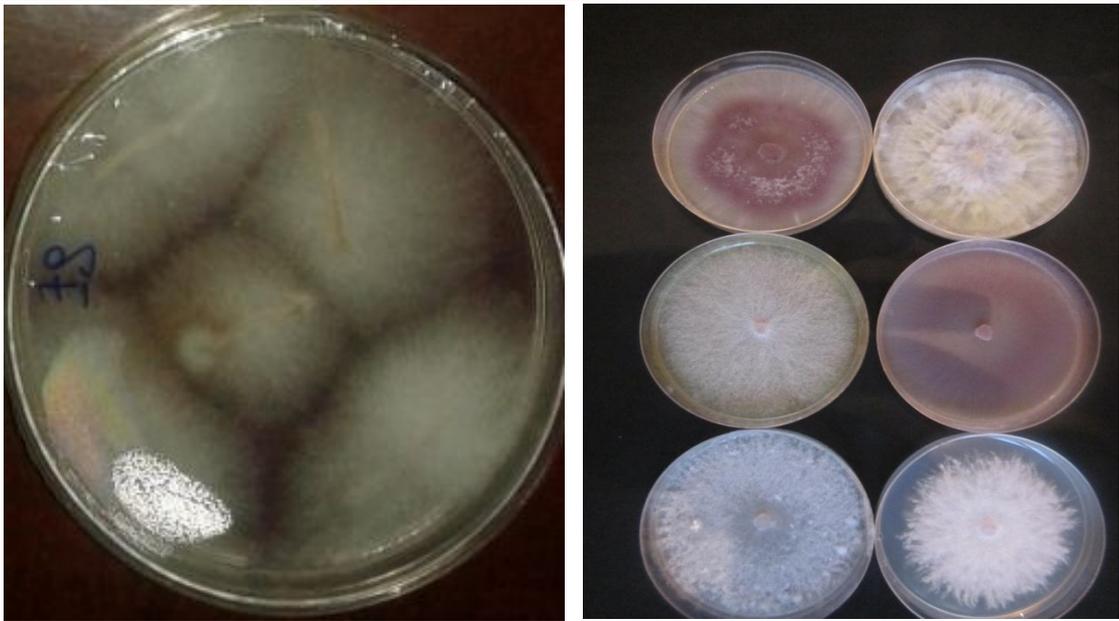


Figure 19 : Les isolements obtenus à partir des tiges. Variabilité des morphotypes des isolats du *FOC*.

Les isolats sélectionnés de *FOC* obtenus à partir des tiges après l'isolement, l'identification et la monospore ont totalement exprimés les symptômes de flétrissement vasculaire après l'inoculation de ces derniers sur la variété sensible ILC 3279. Les symptômes extériorisés par les plantes du pois chiche ont montré une ressemblance avec les symptômes observés dans les champs prospectés. Donc, on constate que les isolats inoculés à cette variété sont certainement des formes spéciales *ciceri*, et constituent les isolats responsables du flétrissement vasculaire du pois chiche, remarqué in vitro et in vivo.

II. Discussion

Au cours des prospections effectuées durant la campagne 2015, portées sur le flétrissement vasculaire du pois chiche, nous avons observés des symptômes typiques et/ou atypiques de cette maladie représentée par un flétrissement précoce ou un jaunissement tardive. Ces symptômes sont analogues à ceux décrits par Bouznad et al, (1996); Labdi et al, (1996) ; Sayoud et al, (1999); Bekkar, (2007) en Algérie, au Maroc les même symptômes sont décrites par El Hadi et al, (1996) ; El ouafir, (2001), en Inde (Nene et Reddy, 1987), (Haware, 1988), en Californie (Westerlund et al, 1974), en Espagne par Jiminez- Diaz et Trapéro-Casas, (1988). Cependant, Bouznad et al, (1996), ont observé la présence des deux types des symptômes simultanément. Haware et Nene, (1980), ont signalé l'apparition des symptômes sur les gousses et les graines issus des plantes malades. Ils ont observé des gousses vides et des graines plus légères et plus émoussé que ceux de plantes saines.

Les enquêtes menées par Bouznad et *al*, (1996), ont révélé la présence de flétrissement dans l'Est (Guelma) et l'Ouest de pays (Sidi Bel Abbes, Tiaret et Ain Témouchent). Labdi et *al*, (1996), ont montré l'importance de cette maladie dans les régions de Sidi Bel Abbes et Ain Timouchent avec une incidence variable entre 1 et 20%, bien que les dommages puissent atteindre les 100% dans les conditions favorables. Les surveillances des maladies cryptogamiques des légumineuses menées par Mabsoute et *al*, (1996), conduites dans cinq régions (Sidi Bel-Abbes et Ain Timouchent, Saida, Tiaret et Ain Defla), ont révélé une incidence moyenne de 20%. Les travaux effectués par Bekkar, (2007) pendant la campagne agricole 2006, ont montré une incidence de la maladie variable entre 4.1 et 73.7% avec une moyenne de 17.68% pour les 29 champs prospectés dans les régions de Mascara, Sidi Bel Abbes et Ain Timouchent.

Ces résultats sont identiques à ceux rapportés par El ouafir, (2001); Jiménez-Gasco et Jiménez-Diaz, (2003); Jiménez-Gasco et *al*, (2004a); Honnareddy et Duby, (2006) ; Bakkar, (2007), après l'inoculation de *FOC* aux plantules sensibles.

Cette étude a montré également que 86,33 % des isolats sont soit très agressifs (73,33%), soit agressif (13,33%), ils sont répartis dans toutes les régions productrice du pois chiche dans le Nord- Est Algérien, ceci représente un risque important de cultiver les variétés utilisées actuellement par les agriculteurs, doutant que ces variétés ont prouvé leurs sensibilités vis-à-vis de la maladie selon les observations réalisées dans les sites prospectés.

Les analyses ANOVA présentent une corrélation très hautement significative ($r^2=0.99^{***}$) entre le pH et la concentration d'inoculum de *FOC* dans le sol. Le champignon peut résister à des conditions très défavorables de température et de pH. Les changements de pH du sol se traduisent par un facteur de transcription qui active ou inhibe les gènes expriment l'alcalinité et l'acidité et ainsi affecte la croissance des cellules fongiques et le degré de la pathogénicité. De même, les phytoalexines et flavonoïdes libérés par les racines des plantes affectent grandement la germination des spores fongiques (Agrios, 2005). Plus tard, Sinha (1973) a signalé que le pH qui varie entre 3.4 à 9.2 réduit l'incidence du flétrissement de manière significative sans effets néfastes sur le rendement; poids sec des gousses, graines par gousse, nombre de gousses et le rendement des cultures. Sugha et *al*, (1994b), a également étudié le rôle de pH du sol, sur l'incidence du pois chiche flétrissement en Inde. Flétrissement maximale se produit au pH 5.2 avec une baisse légère vers la neutralité. Rao et Krishnappa (1996) ont conclu corrélation positive entre le pH du sol et le complexe de flétrissement du pois chiche.

La plupart des études sur l'effet de facteurs azote, phosphore sur la croissance fongique ont rapporté une concentration accrue des populations fongiques avec

l'augmentation de niveaux de phosphore et d'azote dans le sol. Ceci est confirmé dans notre travail. Nous avons constaté une corrélation significative entre le taux d'azote et le P-Olsen avec la concentration de la population fongique de *FOC* dans la rhizosphère du pois chiche (corrélation négatif avec l'azote, positif avec P-Olsen) .

Cette dernière constatation est en accord avec les résultats publiés récemment par Shucla et Mishra, 2014 ; portées sur la distribution des populations fongiques dans la rhizosphère du pois en fonction la profondeur et caractéristiques physicochimiques du sol. Ces auteurs ont montré l'augmentation des populations fongiques dans les zones contenant des niveaux élevés comparées avec ceux contenant des teneurs faibles en N et en P. Les résultats relatifs à l'effet de l'azote obtenus par Nyiransengiyumva , (2007), montrent qu'il y a en général, une diminution de la croissance mycélienne et une augmentation du nombre de conidies produites en présence de concentrations plus élevées de phosphore et d'azote.

Parmi les légumineuses, le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) exerce une influence très favorable sur la fertilité des sols grâce à la symbiose fixatrice d'azote avec des souches bactériennes du genre *Mesorhizobium* (Liu et al., 2003). Mais, la séparation des effets directs et indirects de l'azote sur l'interaction hôte-pathogène est difficile à cause de leur influence sur la dynamique de l'agent pathogène, la croissance et la physiologie des cultures (Sasseville et Mills, 1979).

Cependant, en dépit d'importants efforts de recherche ont montré que les rhizobiums augmentent le rendement par fixation de l'azote atmosphérique. Les expériences sur terrain par traitements de semences avec le *Rhizobium* ont montré une augmentation significative de la production de pois chiches seulement pour certaines souches jugées efficaces.

Les résultats obtenus par Janardan et Prakash, (2014) montrent également que les rhizobia sont capables de produire les sidérophores et les HCN; alors que d'autres souches ont également montré l'inhibition de la croissance mycélienne de *F. oxysporum* f. sp. *cicer* et *R. solani*. Les mêmes auteurs, ont démontré que les rhizobia provoquent une augmentation significative de la croissance racinaire (36,07%) et le poids sec (50,0%) du pois chiche. Cependant, une inoculation de *R. leguminosarum* augmentent la croissance des plantes et favorisent les souches rhizobactériennes qui améliorent encore l'efficacité symbiotique en terme de nombre et poids sec de nodules, ainsi que le poids sec des racines et de la partie aérienne. Plusieurs auteurs ont rapporté les effets bénéfiques des bactéries fixatrices de N et les micro-organismes de la solubilisation de phosphore (PSM) sur la nodulation et le rendement des légumineuses (Rajendran et al, 2008). La concentration et l'absorption de N et de P accrue dans les plantes traitées avec des inoculations microbiennes suggèrent qu'une

interaction positive existe entre les *Rhizobia* des racines, absorption de N et de P, et l'augmentation de la croissance (Rudresh et al, 2005). En outre, cette étude suggère que l'absorption de N et de l'absorption de P à la suite de la solubilisation par les micro-organismes est considérablement renforcée par rapport aux plants témoins non inoculés. D'autres travaux menés par Verma et al., (2013) ont montré que l'application de *Mesorhizobium sp.* ont été démontré significativement importants pour la nodulation, la croissance des plantes et le rendement du pois chiche (*Cicer arietinum* L.). La nodulation a été augmentée de 62 à 86%, le poids sec de la racine de 44 à 57%.

L'augmentation de la croissance peut être attribuée à plusieurs mécanismes tels que la production des hormones de la croissance dans la rhizosphère (Nagrajkumar et al, 2004). La croissance des plantes après leurs inoculation par les rhizobactéries telles que *P. aeruginosa*, *B. megaterium* et *A. chroococcum* ont augmenté la croissance des plantes par l'induction des activités de l'AAI, la solubilisation de phosphore, la production des sidérophores, NH₃, HCN et l'amélioration de l'activité des antagonistes contre les champignons pathogènes.

D'autres travaux ont démontré que les rhizobiums induisent les activités des pseudomonas. Par conséquent, ces bactéries produisent les sidérophores, des métabolites secondaires et des enzymes lytiques qui sont avérés très efficace pour lutter contre les pathogènes des racines, y compris *F. oxysporum f. sp. cicer* et *R. solani* (Ahmad et al, 2008).

Dans notre étude, nous avons démontré une corrélation négative entre le taux de l'azote et gravité de la maladie. En effet, en cas de déficience en N, nous avons observé une augmentation significative de la maladie. Il est probable que l'azote provoque la croissance convenable, prolonge la période végétative et provoque une maturité plus tardive de la plante. L'augmentation de la concentration d'inoculum dans le sol suite à une augmentation de l'apport azoté est expliquée par l'effet de l'azote sur les propriétés de la cuticule, la structure de la paroi cellulaire et l'activité métabolique de la plante et par conséquent la prédisposition des plantes aux maladies fongiques (Snoeijers et al, 2000). En outre, l'effet de la forme d'azote pourrait être attribué au pH du sol. Selon Agrios, (1997) les ions d'ammonium (NH₄⁺) sont absorbés par les racines à travers l'échange avec les ions H⁺ qui sont rejetées dans le milieu environnant, diminuant ainsi le pH du sol.

Sugha et al, (1994b), ont rapporté que l'augmentation de la concentration de l'azote joue également un rôle déterminant dans l'incidence et la sévérité du flétrissement vasculaire du pois chiche. En situation de forte disponibilité en azote, défavorisent la maladie et contribue également à la diminution de l'incidence et la sévérité. Rao et Krishnappa, (1996)

ont rapporté que les concentrations élevées de l'azote organique dans le sol diminuent la gravité de la maladie.

L'azote a été intensivement étudié dans la relation "nutrition de l'hôte-sévérité de la Maladie "depuis plusieurs années (Huber et Watson, 1974). La teneur du sol en azote présente différents effets selon la culture et l'agent pathogène étudié. Duffy et Défago (1999) ont montré que la maladie du pourridié fusarien causée par *Fusarium oxysporum f.sp.radicis-lycopersici* chez la tomate a augmenté suite à l'augmentation de la concentration d'ammonium dans le sol.

Hoffland et al. (1999) ont montré que l'augmentation de la concentration d'azote appliqué diminue la sévérité de la moisissure grise causée par *Botrytis cinerea* chez la tomate. Par contre, l'azote n'a pas eu d'effet sur le flétrissement fusarien causé par *Fusarium oxysporum f.sp. Lycopersici* chez la tomate alors que l'augmentation de la concentration d'azote a favorisé l'augmentation de la moucheture (*Pseudomonas syringae pv.tomato*) et du blanc (*Oidium lycopersicum*) chez la tomate (Hoffland et al, 2000). Nam et al. (2006) ont montré que des concentrations élevées d'azote dans la solution nutritive ont augmenté la sévérité de l'anthracnose provoquée par *Colletotrichum gloeosporioides* chez une culture de fraisier en système hydroponique fermé.

La fusariose vasculaire de la tomate a montré que l'application de nitrate dans le sol avec un pH déjà élevé, améliore le contrôle du flétrissement (Woltz et Jones 1973). Bien qu'un large éventail d'interactions des agents pathogènes et leurs hôtes sont impliqués, comme conclu Huber et Watson (1974), il est généralement sous la forme d'azote disponible à l'hôte ou l'agent pathogène qui affecte la gravité de la maladie ou de la résistance, plutôt que la quantité d'azote.

Des résultats similaires ont été obtenus par Sharma et al, (2006), où ils ont montré que le niveau supérieur de l'azote diminue significativement la maladie de l'helminthosporiose causée par *Cochliobolus sativus* entre 15 à 22%. Les travaux de Hoffland et al, (2000) ont démontré que la susceptibilité à des cultivars de la tomate au *Botrytis cinerea*, diminution avec l'augmentation de la concentration N.

Après à l'azote, le phosphore est l'élément le plus important pour la production des grains. L'évolution de la science, en particulier dans le siècle passé, a clairement démontré l'importance de phosphore pour toute la vie animale et végétale sur la terre (Ryan et al. 2012). Surtout dans les premiers stades du développement de la plante, un approvisionnement approprié de P est nécessaire pour le développement des organes reproducteurs et P a un effet positif sur la croissance des racines, la précocité, et réduit l'incidence de la maladie.

Dans ce travail, une augmentation significative est observée de l'incidence et la sévérité de la maladie suite aux déficiences du sol en phosphore. Il est probable que les niveaux très élevés du phosphore entraînent une activation des enzymes importants dans le processus de sporulation et de pathogénicité chez les champignons. Ceci montre que les concentrations de phosphore qui sont optimales pour certains processus sont inhibitrices pour certains autres y compris la sporulation, la germination et la pénétration des espèces fongiques phytopathogènes (Garraway et Evans, 1984).

Nos résultats montrent une corrélation positive entre le niveau de P Olsen et la maladie de flétrissement vasculaire causée par le *FOC* ; une augmentation de P assimilable augmente significativement le niveau de la maladie traduit par une diminution de l'incidence, la sévérité et l'index de la maladie. Les résultats sont en accord avec ceux obtenus par Woltz et Jones (1973a, b,c ;1981). Ces auteurs ont montré qu'un niveau élevé de phosphore augmente la sévérité du flétrissement fusarien (*F.oxysporum f.sp. lycopersici*) chez la tomate cultivée en pots et au champ. SagduUaev et Berezhnova (1974) ont montré que les amendements en phosphore augmentent la sévérité du flétrissement fusarien causé par *F.oxysporum f.sp. melonis* chez le cantaloup. Dick et Tisdale (1938) ont montré que l'augmentation de la dose de phosphore favorise l'augmentation de la sévérité du flétrissement vasculaire causé par *F.oxysporum f.sp.vasinfectum*, chez le coton. Brennan(1988) a montré que les plants du blé cultivés sans phosphore ont été infectés par le piétin-échaudage, dont l'agent pathogène est *Gaeumannomyce sgraminis var.tritici*, tandis que l'augmentation de la concentration de phosphore a permis la réduction de cette maladie. Duffy et Défago (1999) ont montré que le pourridié fusarien provoquée par *F.oxysporum f.sp. radicis-lycopersici* est augmenté chez la tomate suite à l'augmentation de la concentration de phosphore. Sanogo et Yang (2001) ont montré que la nutrition phosphatée à un effet sur le syndrome de la mort subite du soya (*F.solani f.sp.glycinesfsg*). En effet, le phosphate de calcium a augmenté la sévérité de la maladie de 21%, le phosphate de potassium de 32% et le phosphate de sodium de 43%. La germination in vitro des conidies du *fsg* n'a pas été affectée de façon significative par les éléments nutritifs phosphatés; par contre la croissance mycélienne a été favorisée sur milieu de culture amendé de phosphate de potassium et de phosphate de sodium (Sanogo et Yang, 2001)

Nos résultats sont contradictoires avec ceux obtenus par Rao et Krishnappa (1996). Ces auteurs ont également étudié le rôle de P disponible sur l'incidence du flétrissement vasculaire du pois chiche, conclu par la suite une corrélation négative entre les épidémies causées par le *FOC* et la teneur de sol en phosphore. En outre, Sugha et al, (1994b), ont rapporté la neutralité de P assimilable dans l'interaction *FOC*-pois chiche. L'augmentation de

niveau de P dans le sol n'agit ni positivement ni négativement sur l'incidence et la sévérité de la maladie.

*Conclusion
générale*

En Algérie, la culture de pois chiche occupe une place importante parmi les légumineuses alimentaires. Cette culture occupait en 2014 une superficie avoisinant les 33 295 Ha. En plus de son utilisation comme source de protéines, le pois chiche participe à l'amélioration de la fertilité du sol grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique. Cependant cette culture est exposée à l'attaque de plusieurs agents pathogènes qui peuvent provoquer des dégâts avec des pertes économiques graves.

Le flétrissement causé par *Fusarium oxysporum f.sp. ciceri* est la maladie la plus grave dans beaucoup de pays de culture de pois chiche, notamment en Algérie, en raison de son développement rapide et les dégâts qu'il occasionne.

Ce travail porte sur l'effet des quelques facteurs abiotiques sur la population de FOC à partir du sol. Les échantillons utilisés pour cet objectif sont prélevés à partir des différentes wilayas dans le Nord- Est Algérien à savoir, Skikda, Guelma, M'ila et Constantine.

Au cours des expériences effectuées durant la campagne 2015, portées sur le flétrissement vasculaire du pois chiche, nous avons observé des symptômes typiques et/ou atypiques de cette maladie représentée par un flétrissement précoce ou un jaunissement tardive. Ces symptômes sont similaires à ceux décrits par Bouznad *et al*, (1996); Labdi *et al*, (1996) ; Sayoud *et al*, (1999); Bekkar, (2007) en Algérie.

L'analyse des données de l'AUDPC constaté lors des expériences effectuées sous serre a permis de distinguer 3 groupes différents. Cependant, les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le S1 (4081) et le S2 (4098,5). Par contre, les sites S4, S7 et S8 ont prononcé les valeurs les plus faibles de l'AUDPC 1300, 1372,0 et 1229,0 respectivement.

Les résultats obtenus montrent également des variations des facteurs de production et de croissance le rendement, la matière sèche et le poids de nodosité en réponse aux différents types de sites expérimentaux. Ces variations sont expliquées par une augmentation significative dans le rendement, la matière sèche et le poids de nodosité dans les sites S3, S4, S7 et S8. En revanche, les autres ont marqués des valeurs moyennes est faibles.

L'étude de l'effet de la maladie représenté essentiellement par la valeur de l'AUDPC pour chaque site montrent des corrélations négatives entre les valeurs de l'AUDPC et la biomasse des nodules ($r=-0,78$) ainsi que la matière sèches ($r=0,73$). Cet effet, est expliqué par une valeur faible de l'AUDPC se traduit par un bon rendement, un poids sec acceptable et une nodosité importante. Ce phénomène est bien constaté dans les sites S4, S5, S7 et S8.

L'analyse de la dynamique et l'évolution de l'azote et le phosphore total ainsi que le P-assimilable montre une importante augmentation de l'apport de l'azote dans le sol, une diminution dans le P-total qui varie en fonction le site expérimental. En parallèle, le P-assimilable est montré variable entre les sites, augmente dans les sites S1 et s2 et diminue dans les autres sites.

La recherche sur l'effet des éléments minéraux sur la fusariose vasculaire a dénudée une corrélation négative ente l'azote et la valeur de l'AUDPC, une corrélation positif avec le p-assimilable et aucun corrélation n'a été constaté avec le p-total. Les apports de l'azote augmentent significativement la résistance des plantules de pois chiche contre le *FOC* est diminuent significativement de la gravité de la maladie. Par contre, le p-assimilable dans la rhizosphère avec des taux élevés augmentent significativement le taux de l'AUDPC et aggrave la maladie. L'analyse des facteurs précédents, dans les plantules de pois chiches a mis en évidence les mêmes corrélations montrées dans la rhizosphère.

PERSPECTIVES

A l'issue de ce travail, les perspectives que nous envisageront s'inscrivent d'une part dans le cadre d'une recherche de moyens de lutte visant à limiter, au champ, l'activité infectieuse de *FOC* par le biais de contrôle et l'amélioration de l'alimentation de pois chiche en minéraux en particulier l'azote , mais également elles s'inscrivent dans le cadre d'une étude complémentaire visant à mettre en évidence les mécanismes par lesquels cette pratique agit négativement sur l'activité infectieuse du pathogène soit directement en lui créant un environnement abiotique défavorable, soit indirectement en stimulant des composantes de la microflore nuisibles à son rencontre.

Il paraît important d'approfondir les connaissances sur la dynamique de la mycofolre dans la rhizosphère afin de permettre aux plantules de pois chiche une bonne croissance et une meilleure résistance contre le *FOC*.

Références
Bibliographiques

Références bibliographique

- AAC, 2006.** Pois chiche, Situation et perspective. Le Bulletin bimensuel. Volume 17,15 ; 4 p.
- Abadli M., 1991.** Influence de la fertilisation potassique sur la capacité de fixation de l'azote et sur le rendement d'une variété de pois chiche *Cicer arietinum*. Thèse. Ing. Agro.INA, El-Harrach, 70 p.
- Agrios G. N., 1997.** Plant pathology 4ème edition. Ed. Academic press ; New York, 619p.
- Agrios G. N., 2005.** Plant Pathology (5th edition). Department of Plant Pathology University of Florida ; Elsevier Academic Press, pp 948.
- Ahmad, P., Jhon, R., Sarwat, M., Umar, S., 2008.** Responses of proline, lipid peroxidation and antioxidative enzymes in two varieties of *Pisum sativum*L. under salt stress. *Int. J. Plant Production*, 2: 353-366.
- Ahmed F., Slinhard A. E. and Scoles G. J., 1988.** Investigations into the barriers. (S) to interspecific hybridization between, *Cicer arietinum L.* and eight there annual *cicer* especies plant breeding.
- Akhtar Ayyub, M., 2001.** Evaluation of chickpea germplasm, fangitoxicant, organic and inorganic material for the management of wilt *Fusarium oxysporum f. sp ciceris*. Thèse de doctorat. University of agriculture, Faisalabad, Pakistan, 132p.
- Alabouvette C. Briose D. Lamanceau P. Couteaudier Y. et Louvet J., 1987.** Utilisation de souche non pathogène de *Fusarium* pour lutter contre la fusariose, situation actuelle dans la pratique, *Bulletin O.E.P.P*, 17: 665-671.
- Allen D. J., 1983.** The pathology of tropical food legumes. John Wiley and Sons, New York, 413pp.
- Alternaria tenuis* Auct. Proc. Natl. Acad. Sci. India, Sect. B 37: 131-134.
- Alvarez M. Y. and Moreno A., 1984.** Identification de hongos causante de pudricion radicularon en garbanzo (*Cicer arietinum L.*). *Agriculture Tecnica (Chile)*, 44: 253-258.
- Anonyme., 1980.** Proceeding of the international work shop on chickpea improvement. International crops research institue for the semi-arid tropics (ICRISTAT). Hyder abad, India, 298pp.
- Anonyme., 1985.** Chickpea pathology. Food legume improvement program Progress Report 1984-85. ICARDA. (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), Aleppo, Syria., 66pp.
- Arvayo-Ortiz M. Esqueda M. Acedo-Felix E. Sanchez A. and Gutierrez A., 2011.** Morphological variability and races of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceris* associated with chickpea (*Cicer arietinum*) crops. *Ann. J. Agric. Biol. Sci*, 6: 114-112.

Références bibliographique

- Atmani S., 1995.** Caractérisation morphologique de quelques géotypes locaux et étrangers de *Cicer arietinum* L. et leur sensibilité ou résistance à *Ascochyta rabiei*(Pass.) Lab. Thèse Ing. INA. El-Harrach. 85 p.
- Aubert G. 1976.** Les Ericacées en provence, répartition, édaphologie, phytosociologie, croissance et floraison. Thèse d'Etat, Univ. D'Aix-Marseille.
- Aubert. C, 1992.**Fabuleuses légumineuses avec 140 recettes traditionnelles. Edition Terre vivante. Paris. N p 251. P 104-105.
- Baize D. (1988).** Guide des analyses courantes en pédologie : choix expression- présentation- Interprétation. Ed. INRA, Paris. pp. 172.
- Barnett U. L., 1960.**Illustrated genera of imperfect fungi.Minneapolis Burgess Publ. Co.
- Bedard A., 2005.** Pourquoi mettre le pois chiche au menu? Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF), Université Laval.
- Bekkar A. A., 2007.** Variabilité de la morphologie et du pouvoir pathogène chez *Fusarium oxysporum* *Schelcht. Emend. Snyd. & Hans. f. sp. ciceri* (Padwick), agent de flétrissement vasculaire du pois chiche (*Cicer arietinum* L). Mémoire de Magister. CUM Mascara. 92p.
- Belabid L. Fortas Z. Dalli D. Khiare M. and Amdjad D., 2000.**Importance du flétrissement et de la pourriture racinaire de la lentille dans le nord-ouest Algérien. Cahiers Agricultures , 9: 515-518.
- Belabid L., 2003.**La Fusariose Vasculaire de La Lentille (*Lens culinaris* Med.) dans le Nord-Ouest Algérien : Morphologie et Diversité Génétique chez *Fusarium oxysporum* (*Schlecht.*) *Emend. S. & H. f. sp. lentis* (*Vasud. & Srini.*) en Relation avec la Répartition Géographique et le Pouvoir Pathogène. Thèse de Doctorat, Université d'Oran.
- Ben Freha F., 2010.** Détermination de races et recherché des géotypes de pois chiche (*Cicer arietinum*) résistant a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* (agent de flétrissement vasculaire du pois chiche. 1er séminaire National sur la protection des plantes cultivées, Centre Universitaire de Khemis Miliana, Institut des Sciences de la Nature et de la terre. p.62
- Berry S. Z. Madumadu G. G. et Uddin M. R., 1988.**Effect of calcium and nitrogen nutrition on bacterial canker disease of tomato. Plant Soil, 112: 113-120.
- Bhatti M.A., 1986.***Verticillium* albo-atrum causing wilt of chickpea Review of plant pathology, **65**: p51.
- Boorsma P.A., 1978.**Chickpea breeding IPHR Morocco.MARA-DRA. Stationcentrale des légumineuses alimentaires,Rabat, 35pp.

Références bibliographique

- Booth C., 1971.** The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institut, Kew, Surrey, England, 273 p.
- Booth C., 1975.** The present status of *Fusarium* Taxonomy. *Ann. Rev. Phytopathology*, **13**: 83-93.
- Botton B. Breton A. Fèvre M. Gauthier S. Guy P. Larpent J. P. Reymond P. Sanglier J. J. Vayssier Y. et Veau P., 1990.** Moisissures utiles et nuisibles, Importance industrielle, Ed. Masson, Paris.
- Bouchez C., 1985.** Le développement de la culture du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) dans le bassin méditerranéen. *Mem. D.A.A.E.N.S.A Montpellier*, 77p.
- Bouznad Z. Maatougui M. E. H. et Labdi M., 1996.** Importance et distribution géographique des maladies fongiques des légumineuses alimentaire en Algérie. 13-19p, in Ezzahiri, B., Lyamany, A., Farih, A., et El Lyamany, M. Symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires IMP El Maarif Al Djadida Rabat. 390p.
- Bouznad Z. Solh M. Labdi M. Rouibah M. and Tabbal H., 1989.** Preliminary results on the causes of chickpea wilt and root rot of chickpea in Algeria. ANAPAV (Maroc) 6eme congrès de la société méditerranéenne de phytopathologie, 29-30 Novembre, 1989, 5pp.
- Bouznad Z., 1989.** Contribution à la connaissance du genre *Ascochyta* chez les légumineuses en Algérie. Etude biologique, ultrastructure et cytochimique des relations hôte-pathogène chez le couple *Ascochyta pisi/Pisium sativum*. Thèse de doctorat en Sciences naturelles; Université Pierre Marie Curie, 190 p.
- Brennan R. F., 1988.** Effet of phosphorus deficiency in wheat on the infection of roots by *Graeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Aust. J. Agric. Res.* 39: 541-546.
- Bretay M., 1982.** Fungi isolated from chickpea grown in experimental plots in North West Victoria (Australia). *International chickpea Newsletter*, **13** : 24-26.
- Cabrera de la Colina J. Trapero-Casas A. and Jimenez-Diaz R. M., 1985.** Races of *Fusarium oxysporium* f. sp. *ciceri* in Andalusia, Southern Spain. *International chickpea Newsletter*, **13**: 24-26.
- Chattobadhay S. S. and Sen Gupta P.K., 1967.** Studies of diseases of pulses. *Indian journal of mycological research*, **5**: 53-95.
- Colhoun J., 1969.** Seed and soil-borne pathogens of cereals. Pro-ceedings of the 5th British Insecticides and Fungicides Conference, 620–625.
- Cooke B.M., (2006),** Disease Assessment and Yield Loss. p 43–80. in Cooke, B.M.; KAYE, B.; and Gareth, J. D.; *The Epidemiology of Plant Diseases*. Springer. 538p.

Références bibliographique

- Cubero J. L., 1987.** Morphology of chickpea. In the chickpea. Sexena, M.C et Sing. K.B., eds CAB. International walling ford, UK, pp 35-66.
- Dahlberg K. R. and Van Etten J. L., 1982a.** Physiology and biochemistry of fungal sporulation. Annual Review of Phytopathology, 20:281-301.
- Dastur J.F., 1935.** Gram wilis in centrale provinces. Agr. Live.stk. India, 5: 615-627.
- Davet P., 1996.** *Vie microbienne du sol et producti on végétale* INRA, Paris (FR), p 383.
- Davet P. and Rouxel F., 1997 :** *Detection et isolation des champignons du sol*, (edn) INRA.Paris.
- De Vallavieille-Pope C. S. Giosue L. Munk A.C. Newton R.E. Niks H. Ostergard J. Pons-Kuhnemann V. Rossi and Sache I., 2000.** Assessment of epidemiological parameters and their use in epidemiological and forecasting models of cereal airborne diseases. Agronomie, 20:715-727.
- Dick J. B. et Tisdale H. B., 1938.** Fertilizers in relation to incidence of wilt as affecting a resistant and a susceptible variety. Phytopathology, 28: 666-667.
- Diekman M., 1992.** Use of climatic parameters to predict the global distribution of Ascochyta blight on chickpea. Plant Dis, 76(4): 409-12.
- Djebaili A., 1991.** Influence de l'époque et de la densité de semis sur le rendement d'une variété de pois chiche. Thèse Ing.Agr., I.N.A., El Harrach. Alger, 92p.
- Domsch K. H. Gams W. and Anderson T. H., 1980.** Compendium of soil fungi. Volume 1. Academic Press.
- Dossa C., 1993.** Variabilité de la morphologie et du pouvoir pathogène et diversité génétique chez *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *Elaeidis Toovey* agent de la fusariose du palmier à huile. Thèse de doctorat : Biologie des Systèmes Intégrés. Physiologie (Phytopathologie : Université des sciences et techniques du Languedoc). Montpellier : Université de Montpellier 2, 135 p.
- Drame., 2004.** Pathogenie comparée de quelques souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* Atk., agent de la fusariose du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) Au Senegal. Agronomie Africaine, 16: 33-38.
- Ducke J. A., 1981.** Hand bock of legumes of world economic importance plenum press, Paris, 796 p.
- Duffy B. K. et Défago G., 1999.** Macro- and microelements fertilizers influence the severity of *Fusarium* crown and root rot of tomato in a soilless production system. Hort.Sci, 34:287-291.

Références bibliographique

- El Aoufir A., 2001.** Étude du flétrissement vasculaire du pois chiche (*Cicer arietinum*) causé par le *Fusarium oxysporum f. sp. Ciceri*. Evaluation de la fiabilité de l'analyse isoenzymatique et de la compatibilité végétative pour la caractérisation des races physiologiques. Thèse de doctorat, Université Lavai, P 161.
- El Hadi M. Beniwal S. P. S. et Krafi J. M., 1996.** Incidences of *Fusarium* wilt of chickpea in Morocco. 37-42 p, in Ezzahiri, B., Lyamany, A., Farhi, A., et El Lyamany, M. Symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires IMP El Maarif Al Djadida Rabat. 390p.
- Ellis M. B., 1971.** Dematiaceous Hyphomycetes. Commonwealth Agricultural Bureaux, Kew, UK.
- Ellis M. B., 1976.** More Dematiaceous Hyphomycetes. CAB International Mycological Institute, Kew, UK. 507 pp.
- Erwin D. C., 1958.** *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri*, incitant of Fusarium wilt of *Cicer arietinum*. *Phytopathology*, **48**: 498-501.
- Erwin D. C., 1958a.** *Verticillium* wilt of *cicer arietinum* in southern California. *Plant disease reporter*, 42p.
- Erwin D.C., 1957.** *Fusarium* and *verticillium* wilt diseases of *Cicer arietinum*. *Phytopathology*, **47** :p10.
- Fernandez D. Lourd M. Quinten M. Tantooui A., et Geiger J. P., 1995.** Le Bayoud du palmier dattier, une maladie qui menace la phoeniculture. *Phytoma. La défense des végétaux*, **469**: 36-39.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION, for a world without hunger. 23/02/2012.**
from germplasm evaluation data. *Crop Science* 33: 626-632.
- Garcia-Pedrajas M. D. Bambridge B. W. Heale J. B. Perez-Artes E. and Jimenez-Diaz R. M., 1999.** A simple PCR-based method for the detection of the chickpea wilt pathogen *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri* in artificial and natural soils. *European Journal of Plant Pathology*, **105**: 251-259.
- Garraway M. O. and Evans R. C., 1984.** *Fungal Nutrition and Physiology*. Wiley, New York, 401 pp.
- Gary j muehlbauer; catherine feuillet .2009.** *Genetics and Genomics of the Triticeae*. New York, NY : Springer-Verlag New York, p632.
- Gaur R, Azam S, Jeena G, Khan AW, Choudhary S, Jain M, Yadav G, Tyagi AK, Chattopadhyay D, Bhatia S. High-Throughput SNP discovery and genotyping for constructing a saturated linkage map of chickpea (*Cicer arietinum* L.)** *DNA Res.* 2012

Références bibliographique

- Gaur, R.K., R. Raizada and G.P. Rao, 2008.** Sugarcane yellow leaf phytoplasma associated for the first time with sugarcane yellow leaf syndrome in India. *Plant Pathol.*, 57: 772-772.
- Ghorbani R. Wilcockson S. Koocheki A. and Leifert C., 2008.** Soil management for sustainable crop disease control ; a review, *Environmental Chemistry Letters*, 6: 149-162.
- Gilman G. C., 1957.** A Manual of Soil Fungi. Oxford & IBH Publishing Co, New Delhi.
- Girard C., 1979.** Perspectives Agricoles. I.T.C.F- F.N.A.M.S- I.S.S.N : 0399 8553 Mensuel N° 31-Novembre.
- Grewal J. S. Pal M. and Kushrestha D., 1974.** Fungi associated with gram wilt. *Indian.J. genet. And plant breeding*, pp: 242-246.
- Guar R. Sethy N. K. Choudhary S. Shokeen B. Gupta V. and Bhatia S., 2011.** Advancing the STMS genomic resources for defining new location on the intraspecific genetic linkage map of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *BMC Genomics*.12: 117.
- Guezlane A., 1976.** Essai de caractérisation enzymatique des *Fusarium* par Electrophorese, catabolisme auxinique et virulence chez deux isolats de *Fusarium oxysporum f. sp dianthi*. Thèse.Doct 3éme cycle.Univ. AIX Marseille.
- Gupta O. M. and Kotasthane S. R., 1978.** Efficacy of fungicidal seed traitement ont pré-dand post emergence mortality in different varieties of bengal gram (*Cicer arietinum*). *International Chickpea Newsletter*, 6: 32.
- Gupta O. M. Kotasthane S. R. and Khare M. N., 1986.** *Fusarium* wilt of chickpea (*Cicer arietinum*). *Agricultural Review*, 7: 87-97.
- Haddadi F., 1992.** Contribution à l'étude de l'interaction nématode – *Fusarium oxysporum* Schelcht emend Snyder et Hans *f.sp. ciceri* (Padwick) Snyder et Hans dans l'expression de la fusariose du pois chiche. Thèse Ing.Agro. INA. EL-Harrach. 102p.
- Halila M. H. and Harrabi M. M., 1990.** Breeding for dual resistance to Ascochyta and wilt diseases in chickpea. *Seminaire Méditerranéen* n° 9, 11-13 July 1988, Zaragoza, Spain.
- Hammadache A. and Ait Abdallah F., 1998.** Lutte contre les adventices en culture du pois chiche d'hiver : un facteur determinant pour la valorization du matériel végétale et du semis précoce. *Céréaliculture.*, n° 33 ISSN 1011-9582.
- Hammadache A., 2001.** La plantation de la culture du pois chiche dans les régions tropical et semi tropical. *Rapport technique ITGC*.

Références bibliographique

- Haware M. P. and Nene Y. L., 1980.** Sources of resistance to wilt and root rots of chickpea. International chickpea Newsletter, **4**: 18.
- Haware M. P. and Nene Y. L., 1982.** Races of *Fusarium f. sp. ciceri* plant disease, **66**: 809-810.
- Haware M. P. and Nene Y. L., 1982a.** Symptomless carriers of the chickpea wilt fusarium. Plant disease, **66**: 250-251.
- Haware M. P. Nene Y. L. and Natarajan M., 1994.** The survival of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri* in the soil in the absence of chickpea. Phytopathology Mediterranean, **35**: 9-12.
- Haware M. P. Nene Y. L. and Rajeshwari R., 1978.** Eradication of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri* transmitted in chickpea seed. Phytopathologie, **68**: 1364-1367.
- Haware M. P. Nene Y. L. and Rao N., 1981.** Additional sources of resistance to wilt and roots of chickpea. International Chickpea Newsletter, **4**: 18.
- Haware M. P., 1987.** Fusarium wilt and other important disease of chickpea in the mediterranean area. Proceedings of international Workshop on present status and future prospects on chickpea crop production and improvement in the Mediterranean countries. CIHEAM/EEC. Agrimed/ ICARDA. Zaragoza, Spain., 11-13.
- Haware M. P., 1988.** Fusarium wilt and other important disease of chickpea in the mediterranean area. Proceedings of international Workshop on present status and future prospects on chickpea crop production and improvement in the Mediterranean countries. CIHEAM/EEC, Agrimed/ ICARDA. 11-13, Zaragoza, Spain.
- Haware M. P., Nene Y. L. and Mathur S. B., 1986.** Seed borne diseases of chickpea. Technical bulletin from the Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries, Copenhagen Denmark, **1**: 14.
- Haware M.P. Nene Y.L. and Rajeshwari A., 1979.** Symptomless carriers of the chickpea wilt fungus. International chickpea newsletter I, p 8.
- Haware M.P., 1990.** Fusarium wilt and other important diseases on chickpea in the mediterranean area. Option mediterranean. Series des siminaires, **9**: 163-166.
- Henni J. C. Boisson E. et Geiger J. P., 1994.** Variabilité de la morphologie chez *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*. Phytopath. medit, **33**, 51-58.
- Hoffland E. Jeger M. J. and Van Beusichem M. L. V., 2000a.** Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen. Plant and Soil, **218**: 239-247.

Références bibliographique

- Hoffland E. Jeger M. J. and Van Beusichem M. L., 2000.**Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen. *Plant Soil*, 218: 239-247.
- Hoffland E. Van Beusichem M. L. and Jeger M. J., 1999.** Nitrogen availability and susceptibility of tomato leaves to *Botrytis cinerea*. *Plant Soil*, 210: 263-272.
- Honnareddy H. and Dubey S. C., 2006.** Pathogenic and molecular characterization of Indian isolats of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceris* causing chickpea wilt. *Current Science*, 91(5): 661-666.
- Huber D. M. and Watson R. D., 1974.**Nitrogen form and plant disease. *Annual Review of Phytopathology*, 12:139-165.
- India, Sect. B 37: 199-203.
- Jana, S. and Singh, K.B. 1993** Evidence of geographical divergence in kabuli chickpea
- Jensen B. Munk L., 1997.** Nitrogen-induced changes in colony density and spore production in *Erysiphe graminisf. sp. hordei* on seedling of six spring barley cultivars. *Plant Pathology*,46: 191–202.
- Jimenez-Diaz R. M. and Singh K. B., 1987.***Fusarium* wilt.Food legume improvement program.Annual.Report. ICARDA, Aleppo, Syria., 264 pp.
- Jimenez-Diaz R. M. and Trapero-Casas A., 1985.**Use of fungicide treatments and host resistance to control the wilt and root rots complex of chickpea.*Plant disease*, **69**: 591-595.
- Jimenez-Diaz R. M. and Trapero-Casas A., 1990.** Improvement of chickpea resistance to wilt and root rots diseases. *Options Méditerranéennes. Série séminaires*,**9**: 65.
- Jimenez-Diaz R. M. Trapero-Casas A. and Carbera de la Colina J., 1989.** Race of *Fusarium oxysporum f.sp cicer* infecting chickpea in southern Spains, pp.515-520. In: vascular wilt disease of plant. E.C. Tjamos, and CH. Beckman, eds. Springer-Verlag, Berlin. Vol: 17.
- Jiménez-Diaz, R. M. et Trapero-Casas A., 1988.**Improvement of chickpea resistance to wilt and root rots diseases. In: Proceeding on Present status and Future Prospects of Chickpea Crop production and Improvement in the Mediterranean Countries, 11-13 Jul, Zagarozza, Spain.
- Jiménez-Gasco M. M. Navas-Cortés J. A. and Jiménez-Díaz R. M., 2004.**The *Fusarium oxysporum f. sp. ciceris/ Cicer arietinum* pathosystem: a case study of the evolution of plant-pathogenic fungi into races and pathotypes. *Int microbiology*, 7:95–104.
- Jimenez-Diaz R.M. Trapero-Casas A. and Trapero-Casas J. L., 1992.**The use of host resistance to control fusarium wilt of Kabuli chickpea, *Biological control of plant diseases*. Ed.E.S. Jumos et al. Plenum press, New York, pp: 359-362.

Références bibliographique

- Jimenez-Gasco M. M. and Jimenez-Diaz R. M., 2003.** Development of a specific polymerase chain reaction-based assay for the identification of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceris* and its pathogenic races 0, 1A,5, and 6. The American Phytopathological Society, 2: 200-209.
- Kaiser W. J. Alcalá-Jiménez A. R. Hervers-Vargas A. Trapero-Casas J. L. and Jimenez-Diaz R. M., 1994.** Screening of wild cicer species for resistance to races 0 and 5 of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceris*. Plant Disease, **78**: 962-967.
- Kan J., 1978.** Diseases of chickpea in Malawi. International chickpea Newsletter, **4** : 16.
- Kande J., 1965.** Contribution à l'étude de la valeur nutritionnelle de 2 graines de légumineuses le pois chiche (*Cicer arietinum L.*) et la lentille (*Lens esculata*) Diplôme d'étude. Ecole pratique des hautes études.
- Kazan K. and Muehlbauer F. J., 1991.** Allozyme variation and phylogeny in annual species of Cicer (Leguminosae). Plant Systematic Evolution, **175**: 11-21.
- Keating J. D. G. and Cropper P. J. M., 1983.** Kabuli chickpea as a winter sown crop in Syria. Journal of agriculture science, pp. 667-680.
- Kedad A., 1987.** Cours de phytopathologie (INA).
- Kelly A. Alcalá-Jiménez A. R. Bainbridge B. W. Heale J. B. Pérez-Artés E. and Jimenez-Diaz R. M., 1994.** Use of genetic fingerprinting and Random Amplified polymorphic DNA to Characterize Pathotypes of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri* Infecting Chickpea. The American Phytopathology Society, **84**: 1293-1298.
- Ken-ichi T. and Willcox G., 2006.** The origins of cultivation of *Cicer arietinum L.* and *Vicia faba L.* early finds from Tell el-kerkh, north-west Syria, **15**: 197-204.
- Kistler H. C., 1997.** Genetic Diversity in the Plant-Pathogenic Fungus *Fusarium oxysporum*. American Phytopathological Society. P-1997-0131-01.
- Kjeldahl, J. (1883).** Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. Zantl. chem. pp. 366-382.
- Krishnappa A. M. and al. 1996.** Watershed Development in Karnataka. Agricultural College, Hebbal, Bangalore Golden Jubilee 1946-1996, Alumni Association, UAS, Bangalore.
- Kumar J. and Abbo S., 2001.** Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. Advances Agronomique, **72**:107-138.

Références bibliographique

- Kupicha F. K., 1981.** Cicereae Alefed, in: Advances in legume systematics, part 1. R.M. Polhill and Ravenes (ed) Royal Botanic Gardens 3, Kex, England, pp 382.
- Kupicha, F. K., 1977.**The delimitation of the tribue viciae and the relationships of cicer. L. Botanica journal of the linnean society, **74**: 131-162.
- Labdi M. Oufroukh A. Sellami S. Adim D. Agad H. Kaouani A. et Boudieb M., 1996.** Enquête sur les maladies des légumineuses alimentaires en Algérie. 27-35, in Labdi, M., Maatougui, E. H., Bouznad, Z., Benabdelli, k., et Bensedik, K. Les légumineuses alimentaires en Algérie: situation actuelle et perspectives. ITGC Editions El-Harrach – ALGER. 296p.
- Labdi M., 1990.** Chickpea in Algeria.Options Méditerranéennes, série séminaires, **9**:137-140.
- Ladizinski, G & Adler, A. 1976a.**Genetic relation on ship among the annual species of *cicerarietinum L.* Théoretical Applied genetics, **48**: 797 - 204.
- Ladizinski, G & Adler, A. 1976b.** The origin of chickpea *cicer arietinum L.* Euphytica., **25**: 211 – 217.
- Ladizinsky G., 1975.**A New Cicer from Turkey. Notes Roy. Bot. Gard. Edinb. (in Press) In Muehlbauer F. J, Rajesh P. N., 2008.Chickpea, a common source of protein and starch in the semi-arid tropics. PH. Moore, R Ming (eds.) Genomics of tropical crop plants.
- Laumont P. et Chevassus A., 1956.** Note sur l'amélioration du pois chiche en Algérie. Institue agricole d'Algérie.Alger, 24p.
- Liu L., Kloepper J. W. and Tuzun S., 2003.** Induction of systemic resistance in cucumber by plant growth promoting rhizobacteria: Duration of protection and effect of protection and effect of host resistance on protection and root colonization. Phytopathology, **85**: 1064-1068.
- Maatougui M. E. H. Bouznad Z. and Labdi M., 1996.**Chichpea in Algeria. In N.P., Saxena, M.C., Johansen, C., Virmani, S. M., and Harris, H.(eds). A chapter from adaptation of chickpea in the west Asia and North Africa region, pp 89-99.
- Mabsoute L. Meskine M. Bouznad Z. et Kharrat M., 1996.** Résultats des surveillances sur les maladies cryptogamiques des principales légumineuses alimentaires dans le Maghreb. P 43-50, in in Ezzahiri, B., Lyamany, A., Farih, A., et El Lyamany, M. Symposium régional sur les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires IMP El Maarif Al Djadida Rabat. 390p.
- Madden L. V and Hughes G., 1999.** An effective sample size for predicting plant disease incidence in a spatial hierarchy.Phytopathology, **89**: 770-781.

Références bibliographique

- Madden L. V and Hughes G., 1999.** Sampling for plant disease incidence. *Phytopathology*, 89: 1088-1103.
- Mai W. F. and Abawi G. S., 1987.** Interaction among root rots nematods and *Fusarium* wilt fungi on host plants. *Ann. Rev. Phytopathol*, 25: 317-338.
- Mani A. and Sethy C. L., 1984.** Plant growth of chickpea as influenced by inicial inoculums levels of *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Nematodology*, 14: 41-44.
- Marcia P. Mullen M. and Westack R., 1983.** Effect of isolation and media on the differencial isolation *Fusarium* species. *Phytopathology*, 73: 458-462.
- Mc. Kerral A., 1923.** A note on fusarium wilt of gram in burma and measures taken to combat it. *Indian Jour*, 28: 608-613.
- Mevicar R. Pearse P. Panchuk K. Brenzil C. Hartley S. Harris C. Yasinowski J. Goodwillie D. Warkentin T. and Banniza S., 2006.** Chickpea in Saskatchewan. Saskatchewan Pulse Growers website - Pulse Production Manual available at (306) 668-5556.
- Melakhessou Z., 2007.** Etude de la nuisibilité directe des adventices sur la culture de pois chiche d'hiver (*Cicer arietinum L.*) variété ILC-3279, cas de *Sinapsis arvensis L.* Mémoire du Magister Université El-Hadj Lakhdar-Batna, pp. 72.
- Merdith D. S., 1973.** Significance of spore release and dispersal mechanisms in plant disease epidemiology. *Annu. Rev. Phytopath.* 11: 313-343.
- Messiaen C. M. and Cassini R., 1971.** Taxonomy of *Fusarium*. In: *Fusarium* diseases, biology and Taxonomy. Nelson P. E., Tousson A et Cook (reds). The Pennsylvania state, Press university, Park.
- Messiaen C. M. Cassini R., 1968.** Recherches sur les Fusarioses. IV. La systematique des *fusarium*. *Ann. Epiphyties*, 19: 387-45.
- Mouria B., Ouazzani-Touhami A., Mouria A. et Douira A., 2013.** Mise en évidence d'une variation intraspecific chez *B. cinerea* et ce lutte biologique in vitro. *Journal of Applied Biosciences*. 64 : 4797-4812.
- Muehlbauer F. J. and Rajesh P. N., 2008.** Chickpea, a common source of protein and starch in the semi-arid tropics. PH. Moore. R Ming (eds.) *Genomics of tropical crop plants*.
- Muehlbauer F. J. and Tullu A., 1998.** *Cicer arietinum L.* In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York.

Références bibliographique

- Nam M. H. Jeong S. K. Lee Y. S. Choi J. M. et Kim H. G., 2006.** Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition on Strawberry anthracnose. *Plant Pathol.* 55: 246-249.
- Navas-Cortes, J.A., B. Hau, and R.M. Jimenez-Diaz (2000).** Yield loss in chickpeas in relation to development of *Fusarium* wilt epidemics. *Phytopathology.* 90:1269-1278. of viridiol produced by *Gliocladium virens*. *Phytopathology* 74, 1346-1349.
- Nene Y. L. and Reddy M. V., 1987.** Chickpea diseases and their control. Pages 233-370 In: *The Chickpea* Saxena M. C. and Singh. K. B. eds. Walking Ford Oxfordshire, UK: CAB International, pp 233-370.
- Nene Y. L. and Sheila V. K., 1989.** Important disease problems of Kabuli chickpea. ICRISAT, ICARDA, 21p.
- Nene Y. L. Haware M. P and Reddy M. V., 1978.** ICRISAT Information Bulletin 3, 44 pp. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India.
- Nene Y. L. Haware M. P. and Reddy M. V., 1979.** Diagnosis of some wilt-like disorders of chickpea (*Cicer arietinum*). ICRISAT Information Bulletin, 3: 1-44.
- Nene Y. L. Haware M. P. and Reddy M. V., 1981.** Chickpea diseases: resistance screening techniques. Information Bulletin n° 10, International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, pp. 1-10.
- Nene Y. L. Kannaiyan J. Haware M. P. and Reddy M. V., 1979.** Review of work done at ICRISAT on soil borne diseases of pigeon pea on chickpea In: Proceeding consultant's group discussion on the resistance to soil borne diseases of legumes ICRISAT 8-11 January, 1979, Patancheru, A.P., India, pp. 3-47.
- Nene Y. L. Reddy M.V. Haware M. P. Ghanekar A. M. and Ami R. S., 1991.** Field diagnosis of chickpea diseases and their control. In: *Information bulletin n° 28*, ed. By International Crops Research Institute for the semi-Arid Tropics, Patancheru, India.
- Nene Y. L., 1980.** Disease of chickpea. Proceeding international workshop on chickpea. International workshop on chickpea improvement. ICRISAT, 28 Feb – 2 mai 1979. Hyderabad, A. P., India, pp. 171-178.
- Novoa R. and Loomis R. S., 1981.** Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58, 177-204.
- Nyiransengiyumva C., 2007.** Effet de différents éléments minéraux sur la croissance et le développement du champignon *Helminthosporium solani*, agent responsable de la gale argentée de la pomme de terre. Université Laval. P116.

Références bibliographique

- Ocampo et al., 1992.** Karyotype analysis in the genus *Cicer arietinum* L. J Genet Breeding, **46**: 229 – 244.
- Ohri D. and Pal M., 1991.** The origin of chickpea (*Cicer arietinum* L.): Karyotype and nuclear DNA amount. The genetical society of great Britain Heredity, **66**: 367-372.
- Otten W. and Gilligan C. A., 2006.** Soil structure and soil-borne diseases: using epidemiological concepts to scale from fungal spread to plant epidemics. European Journal of Soil Science, **57**: 26-37.
- Pacucci G. Troccoli C. and Leoni B., 2006.** Supplementary Irrigation on Yield of Chickpea Genotypes in a Mediterranean Climate. Agricultural Engineering International: the CIGRE journal. Manuscript LW 04 005. Vol. VIII. May, 2006.
- Padwick G. W., 1940.** The genus fusarium 3. A critical study of the fungus causing wilt of the gram (*Cicer arietinum* L.) and of the related species of the subsection *Orthocera* with special relation to the variability of key characteristics. Indian. J. agr. Sci, **10**: 241-284.
- Passad N and Padwick G. W., 1939.** The genus fusarium 2. A species of fusarium as a cause of wilt of gram (*Cicer arietinum* L.). Indian. J. Agr. Sci, **9**: 371-380.
- Patankar A. G., 2000.** Biochemical and Molecular analysis of the defense mechanism in chickpea against biotic stress. Thèse de Doctorate biotechnologie, université de Pune.
- Planquaert P. H. et Braum P., 1988.** Pois chiche, culture et utilisation. Rapport d'activité ITCF, pp. 5-11.
- Planquaert P.H. et Werry J., 1991.** Le pois chiche : culture et utilisation. Brochure de l'ITGC et l'ENSAM, INRA, 11p.
- Rajesh P. N., 2001.** Chickpea genomics: BAC library construction, Resistance gene analog (RGA) mapping and tagging double-podded trait. A thesis submitted to the University of Pune for the Degree of doctor of philosophy. Plant Molecular Biology Division of Biochemical Sciences National Chemical Laboratory Pune 411 008 (India). 144p.
- Rammanujam, S. 1979.** Chickpea, *cicer arietinum*, leguminosae. Palilionaceae. In Evolution of crop plant. Simmonds, N.M ed, Longman and New York, pp 157-159.
- Rao V. K. and Krishnappa K., 1996.** Rizosphere mycoflora of chickpea infected with *Meloidogyne incognita*. Indian Journal of Mycology and Plant Pathology, **26**: 103-104.
- Rapilly F., 1968.** Les techniques de mycologie en pathologie végétale. Ann Epiphyt **19**, (n° HS).

Références bibliographique

- Redden B. and Berger J., 2007.**History and origion of chickpea. In: Yadav SS, Redden B, Chen W, Sharma B (eds.). Chickpea Breeding and Management. CAB International, Wallingford, pp.1-13.
- Reddy M. V. Gridley H. E. and Kaack H. J., 1980.** Major disease problems of chickpea in north Africa. International Chickepa newsletter.,**3**: 13-14. Chattobadhay, S.S., and Sengupta, P.K. 1967. Studies of diseases of pulses.Indian journal of mycological research.**5**: 53-95.
- Reddy M. V. Nene Y. L. and Singh K. B., 1980.**Field screening of chickpea for resistance to Ascochyta blight. International Chickpea Newsletter, **2**: 13-15.
- Reddy M. V., Nene Y. L. and Singh K. B., 1980.** Field screening of chickpeas for resistance to Ascochyta blight. International Chickpea Newsletter., **2**:13-15.
- Rhrib A., 1990.** Trachéomycoses et pourritures racinaires du pois chiche (*Cicer anetinurn L.*). Mémoire de 3ème Cycle. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- Robert C. M. O. Bancal and Lannou C., 2002.**Wheat leaf rust uredospore production and carbon and nitrogen export in relation to lesion size and density. Phytopathology, 92:762-768.
- Rouibah M., 1989.**The contribution to the study of the wilting of the chickpea in Algeria.Institut National Agronomique El-Harrach, Algérie, 51p.
- Ryan M. H. Tibbett M. Edmonds-Tibbett T. Suriyagoda L. D. B. Lambers H. Cawthray G. R. and Pang J., 2012.**Carbon trading for phosphorus gain: the balance between rhizosphere carboxylates and mycorhizal symbiosis in plant phosphorus acquisition. *Plant Cell Environ*,**35**: 2061–2220.
- Sadou D., 1990.** Etude du comporetement de mutants auxotrophes de *Fusarium oxysporium*. (Schp) Emend. Synd et HANS. Et leurs recombines. Thèse ING. AGR. INA-Alger, pp.82.
- Sagdullaev M. M. and Berezhnova W., 1974.**The effects of phosphorus fertilizers on the physiological properties, yield and resistance of melons to *Fusarium wilt*. *Agrokhimia*, 4: 36-40.
- Sanogo S. and Yang X. B., 2001.**Relation of sand content, pH and potassium and phosphorus nutrition to the development of sudden death syndrome in soybean. *Can. J. Plant Pathology*,**23** : 174-180.
- Saxena M. C. and Singh K. B., 1984.**Aschochyta blight and winter sowing of chickpeas. ICARDA, Syria, 288pp.
- Saxena M. C., 1988.** Soil fertility requirements of pea, lentil, chickpea, and faba bean. Pages 279-289 in world Crops (Summerfield R. J, ed). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer academic publishers.
- Saxena M.C. 1990.**Nitrogen fixation by legumes in Mediterranean agriculture Developments in plant soil sciences.ICARDA Syria. (Editors Beck D.L and Nateron L.A), pp 11-23.

Références bibliographique

- Saxena N. P. Saxena M. C. Johansen C. Virmanis S. M. and Harris H., 1996.** Adaptation of chickpea in the west Asia and North Africa region. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, India and International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Syria, 262p.
- Saxena., 1987.** Agronomy of chickpea. In : Saxena N., Johansen P. C. and Singh K. B., eds. The chickpea. Wallingford, UK: CAB International, 207-232.
- Sayoud R. Ezzahiri B. et Bouznad Z., 1999.** Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb. ITGC, Alger.
- Seifert K. A., 1996.** *Fusarium* and anamorphic generic concepts. In: Summerell B. A and Leslie J. F, Backhouse D, Bryden W. L. and Burgess L. W (eds), *Fusarium: Paul E. Nelson Memorial Symposium American phytopathology Society Press, St. Paul, Minnesota*, pp. 15-28.
- Shamis D.L. Gelikova N. S. and Sarsenova L. N., 1968.** Effect of different sources of phosphorus nutrition on biomass of fodder yeasts and the nitrogen and phosphorus content of them. *Trans. Inst. Microbiol. Virisol. Akad. Nauk. Kay. USSR*, 11: 18-24.
- Sharma D. K. and Muehlbauer F. J., 2007.** *Fusarium* wilt of chickpea: physiological specialization, genetics of resistance and resistance gene tagging. *Euphytica*, 157:1-14.
- Shucla V. Mishra S. and Pant H., 2014.** Oxidative stress in neurodegeneration. *Adv Pharmacol Sci.* 2011:572634.
- Si-Hassen A., 1990.** Contribution à l'étude du flétrissement du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) en Algérie. Mémoire Ingenieur en agronomie. INA El-Harrach, Algérie, 60pp.
- Singh B. P. et Tandon R. N., 1967a.** Sulfur and phosphorus requirements of *Alternaria*
- Singh B. P. et Tandon R. N., 1967b.** Phosphorus requirements of certain isolates of
- Singh F. and Diwakar., 1995.** Chickpea botany and production Practices. Skill Development.
- Singh K. B. and Jana S., 1993.** Diversity for responses to some biotic stresses and multivariate associations in Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica*, **68**: 1-10.
- Singh K. B. and Ocampo B., 1993.** Interspecific hybridization in annual *Cicer* species. *Genet Breed*, **47**: 199-204.
- Singh K. B. and Reddy M. V., 1991.** Advances in diseases resistance breeding in chickpea. *Advances in Agronomic*, **45**: 191-222.

Références bibliographique

- Singh K. B., 1987.** Chickpea breeding. In: Saxena M. C. and Singh K. B. (eds) the chickpea. CAB International Publisher, UK, pp: 127-162.
- Singh R. J. and Jauhar P. P., 2005.** Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement, Volume 1, Grain Legumes. Ed CRC Press Taylor & Francis Group, pp 363.
- Sinha A. B. and Sahai R., 1973.** Contribution to the ecology of Indian aquatics. V. Seasonal changes in the biomass and rate of production of two perennial submerged macrophytes (*Hydrilla* and *Najas* spp.) of Ramgarh lake of Gorakhpur. *Trop Ecol.* 14: 19-28.
- Sivan A. and Chel I., 1986.** Biological control of *Fusarium spp.* In: cotton, wheat and muskmelon by *Trichoderma harzianum*. *Journal of phytopathology*, **116**: 39-47.
- Smithson J. B. Thompson J. A. and Summerfield R. J., 1985.** Chickpea (*Cicer arietinum L.*). In: Summerfield R. J. and Robert E. H. (eds), Grain Legume Crop. Collins, London, UK, pp. 312-390.
- Snoeijers S. S. Perez-Garcia A. Joosten M. and De Wit J. G. M., 2000.** The effect of nitrogen on disease development and gene expression in bacterial and fungal plant pathogens. *European Journal of Plant Pathology*, 106: 493-506.
- Snyder W. C. and Hansen H. N., 1940.** The species concept in *Fusarium* *American journal of botany*, **27**: 64-66.
- Solh M. B. and Pala M., 1989.** Weed control in chickpea. *Rev. Option méditerranéenne*, **09**: 93-99.
- Staginnus C. Winter P. Desel C. Schmidt T. and Kahl G., 1999.** Molecular structure and chromosomal localization of major repetitive DNA families in the chickpea (*Cicer arietinum L.*) genome. *Plant molecular Biology*, **39**: 1037-1050.
- Sugha S. K. et al. 1994b.** *Indian J. Mycol. Plant Pathol.*, **24**: 97-102.
- Tanno K. and Willcox G., 2006.** How fast was wild wheat domesticated? *Science* 2006.**311**: 1886.
- tenuis Auct. isolated from papaya (*Carica papaya L.*) leaf *Proc. Natl. Acad. Sci.*
- TOULAITI H., 1988-** L'agriculture Algérienne - Les causes de l'échec. Ed. Office des publications universitaires Alger, 550 p.
- Trapero-casas A. and Jiminez-diaz R. M., 1985b.** etiologia, importancia. Y. distribución de la seca del garbanzo en el valle del Guadalquivir. *Bol. Serv. Plagas*, **11**: 95pp.

Références bibliographique

- Trapero-casas A. and Jiminez-diaz R. M., 1986.** La seca del garbanzo en Andalucía-Comunicaciones agrarios. Série : Protection végétal, n°4. P. 64.
- Trapero-Casas A. and Jiminez-Diaz R. M., 1985.** Fungal wilt and root rot diseases of chickpea in Southern Spain. *Phytopathology*, **57**: 1146-1151.
- Trapero-Casas A., 1983.** Wilt and root rot of chickpea in the Guadalquivir valley: Importance, distribution, etiology, epidemiology and control. PhD Thesis, University of Cordoba, Spain.
- Vakalounakis D. J. and Fragkiadakis G. A., 1999.** Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* isolates from cucumber: Differentiation by pathogenicity, vegetative compatibility, and RAPD fingerprinting. *Phytopathology*, **89**:161-168.
- Van Der Maesan L. J. G., 1972.** Cicer L. a monograph on the genus with special references to the chickpea (*Cicer arietinum* L.), its ecology and cultivation. Thesis, Agricultural University Wageningen Medad Landbouwhogeschool, Wageningen, pp 72-10.
- Van Der Maesan L. J. G., 1987.** Origine, history and taxonomy of chickpea. Pages 11-34 In: Singh, F. et Diwakar, B. 1995. Chickpea Botany and production Practices. Skill Development Series n° 16; ICRIASAT.
- Van Rheenen H. A. Reddy M. V. Kumar J. and Haware M. P., 1989.** Breeding for resistance to soil borne disease in chickpea. Consultancy Meeting on breeding for diseases resistance in kabuli chickpea. March 6, 8, 1989. ICRAIDA, Aleppo, Syria.
- Vanier P., 2005.** Le pois chiche au fil du temps, Usages culinaires, Conservation, Jardinage biologique et Écologie et environnement. Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF), Université Laval.
- Werner D. et Newton W. E., 2005.** Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment. Dordrecht, Pays Bas, Springer.
- Westerlund F. V. Campbell R. N. and Kimble K. A., 1974.** Fungal root rots and wilt of chickpea in California. *Phytopathology*, **64**: 432-436.
- Williams P. C. and Singh U., 1987.** The chickpea nutritional quality and the evaluation of quality in breeding programmes . In: Saxena M. C., Singh K. B. (eds), The chickpea, CAB International, Wallingford, UK, pp 329-356.
- Windels CE. 1992.** Fusarium. In: Singleton LL, Mihail JD, Rush CM, eds. Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi. St Paul, MN, USA: American Phytopathological Society, 115-128.

Références bibliographique

- Wollenweber H. W. and Reinking O. A., 1935.** *De Fusarium*. Ed. Paul Payer, Berlin, 355pp.
- Wollenweber H. W., 1913.** Studies on the *Fusarium* problem. *Phytopathology*, **3**: 24-50.
- Woltz S. S. and Jones J. P., 1973a.** Interactions in source of nitrogen fertilizer and liming procedure in the control of *Fusarium* wilt of tomato. *HortScience*, **8**: 137-138.
- Woltz S. S. and Jones J. P., 1973b.** Tomato *Fusarium* wilt control by adjustments in soil fertility. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **86**: 157-159.
- Woltz S. S. and Jones J. P., 1973c.** Tomato *Fusarium* wilt control by adjustments in soil fertility : A systematic approach to pathogen starvation. *Agric. Res. Ed. Center Bradenton Res. Rept. GC 1973-1977*.
- Woltz S. S. et Jones J. P., 1981.** Nutritional requirements of *Fusarium oxysporum* : Basis for a disease control system. Dans *Fusarium : Diseases, Biology and Taxonomy*. Nelson, P. E., Toussoun, T. A. et Cook, R.J., réds., Perm. State University Press, University Park, p 340-349.
- Zohary D. and Hopf M., 2000.** *Domestication of plants in the old world*, 3rd edn. Oxford University Press, New York.

Annexes

Annexe 1 : Dosage de phosphore total

Procédure :

Elle se déroule en deux étapes: une minéralisation suivie d'un dosage colorimétrique.

-A- Minéralisation

1. Peser une prise d'essai de sol finement broyé
2. Noter la masse m , en g.
3. Introduire le sol dans un tube Büchi.
4. Préchauffer le digesteur Büchi sur la position 10 (5 à 10 minutes environ).
5. Ajouter dans chaque tube 2 billes de verre, 1 pastille Kjeldahl, 12 ml H_2SO_4 concentré.
6. Monter la rampe d'aspiration d'air sur les tubes.
7. Fixer les tuyaux d'aspiration de l'air. Enclencher la trompe à eau et vérifier que le tuyau ne fasse pas de "U". Placer les échantillons dans l'appareil.
8. Surveiller l'ébullition : dès que les particules de terre déposées sur les parois du tube ont été toutes atteintes par le H_2SO_4 en ébullition (les particules noires se détachent des parois), diminuer la température en mettant le bouton sur la position 8.
9. Au bout d'une heure environ pour les sols, le matériel devient clair (en général blanc-verdâtre pour les sols). La minéralisation est alors terminée.
10. Arrêter le chauffage, placer les tubes contenant les échantillons dans les supports et laisser l'aspiration d'air jusqu'à complet refroidissement (compter une heure).
11. Démontez les tubes et ajoutez dans chacun 60 ml d' H_2O bi-distillée ou désionisée. Agitez le culot afin que tout soit bien humecté, sinon le sol non humecté risque de brûler et ne sera pas minéralisé.
12. Après refroidissement (1 heure environ), filtrer le liquide sur ballon jaugé de 100 ml.
13. Veiller à dissoudre le culot afin de bien le rincer.
14. Compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau désionisée.

-B- Dosage colorimétrique

1. Réaliser une courbe étalon (dans l'eau, voire dans le réactif utilisé pour l'extraction) et suivre la même procédure que pour les échantillons.

Abstract

This work aims to determine the impact of certain abiotic factors on the fusarium fungus (vascular wilt of chickpea) from the collection of 8 samples from different regions of northern Algeria during the 2015 season. We performed experiments in plastic greenhouses, where we noticed the spread of the disease, and the value of the AUDPC was high in the zone 1 (4081) and in the Zone 2 (4098.5), unlike areas 4, 7, 8, where there was low AUDPC rate (1300, 1372, and 1229) respectively.

The results showed changes in growth factors, yield, dry weight, weight of rizuma, so we recorded a negative correlation between the percentage of AUDPC and tau rizuma, where we got a good return and acceptable dry weight.

The research of the effects of AUDPC mineral elements showed a positive relationship with phosphorus available for absorption of the plant. We also did not score any relation with total phosphorus, or the amount of nitrogen is significantly elevated during the resistance of chickpea disease.

Key words: *Cicer arietinum* L., *Fusarium oxysporum f ciceri*, vascular wilt, phosphorus, nitrogen .

المخلص

يهدف هذا العمل إلى تحديد أثر بعض العوامل اللاحيوية على فطر الفوزارياومي (الذبول الوعائي لنبات الحمص) و ذلك انطلاقا من تجميع 8 عينات من مناطق مختلفة من شمال الجزائر خلال موسم 2015. قمنا بالتجربة داخل بيت بلاستيكي، حيث لاحظنا انتشار المرض. كانت قيمة AUDPC كبيرة في المنطقة 1 (4081) و المنطقة 2 (4098,5) على عكس المناطق 4 ، 7 ، 8 ، أين سجلنا نسب منخفضة AUDPC 1300 ، 1372 ، 1229 على التوالي .

النتائج المسجلة أظهرت تغيرات في عوامل النمو و المرودية ، الوزن الجاف ، وزن الريبوزوما ، لهذا سجلنا علاقة سلبية بين نسبة AUDPC و كمية الريبوزوما حيث تحصلنا على مردودية جيدة و وزن جاف مقبول. البحث عن تأثيرات العناصر المعدنية ب AUDPC أعطت علاقة إيجابية مع الفوسفور المتاح لامتصاص النبات كما أننا لم نسجل أي علاقة مع الفوسفور الكلي، ارتفاع كمية الأزوت ترفع بشكل ملحوظ مقاومة نبات الحمص للمرض .

الكلمات المفتاحية : *Cicer arietinum* L. : *Fusarium oxysporum f.ciceri* مرض الذبول الوعائي. فوسفور الأزوت.