

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE

De fin d'étude en vue de l'obtention
Du Diplôme de Master II en sciences agronomiques

Spécialité : Phytopharmacie appliquée

THEME

Antagonisme *in vivo* des isolats Algériens de *Trichoderma* sp. à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie.

Présenté par : Zanoune Sabrina

Devant le jury composé de :

Mr	RAMDANE S. A	M.A.A	U.S.D.B	Président du jury
Mme	MOUMENE. S.	M.A.A	U.S.D.B	Promotrice
Mr	ALI OUSSALAH A. E. K	M.A.A	U.S.D.B	Examineur
Mr	CHEBATA. N	M.A.A	U.S.D.B	Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2011/2012

Remerciements

Avant toute chose, je remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné la force, la patience, et la volonté pour achever ce modeste travail

La présente étude n'aurait pas été possible sans le bienveillant soutien de certaines personnes.

Mes premiers remerciements vont d'abord à ma promotrice Mme **MOUMEN S.** pour ses conseils éclairés, son appui constant, sa compréhension et sa gentillesse tout le long de mes travaux de thèse d'ingénieur et de master II.

Travailler avec vous Mme était et restera à jamais une grande chance et un honneur pour moi.

J'adresse tout autant mes remerciements aux membres de jury qui ont aimablement accepté d'examiner ce modeste travail, il s'agit de :

Mr REMDANE S.A

Mr ALI OUSSALAH A. E. H

Mme CHABATA N.

Je dois une reconnaissance particulière à Mr **BELLATRECHE M.** pour sa précieuse contribution à la réalisation de la partie statistique. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

Je ne saurais oublier d'exprimer ma profonde sympathie à l'ensemble de mes collègues de la Station Régionale de la Protection des Végétaux et à leur tête le directeur qui n'ont ménagé aucun effort pour m'appuyer moralement et intellectuellement.

La sollicitude de toutes les personnes qui m'ont entourées durant cette période d'étude et de dur labeur restera à jamais inscrite dans ma mémoire, particulièrement, celle de ma très chère mère qui m'as encouragée et soutenue depuis ma tendre enfance, de ma chère famille

De mes copines et collègues **Tizioualou G. Saddek D. Benchikh K. Laidani M.**

Je finirais par remercier tous ceux que j'aurais omis de nommer et qui auraient contribué de près ou de loin à l'élaboration et la concrétisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma très chère maman, tu es mon oxygène maman, ma source d'inspiration, j t'aime plus que tout

A la mémoire de mon cher père que j'ai tant aimé qu'il assisté à ma soutenance, je te porte dans mon cœur papa

A mon cher frère DJAMEL et à son épouse AMEL, vous êtes mes anges gardiens à moi, je vous aime beaucoup

A mon petit neveu Mohamed, tata t'attends avec impatience mon grand

A mes très chers frères AZIZ, MOUNIR et MEHDI, je vous aime tant mes complices

A mes chères copines GHAZIA, DOUNIA, KHADIDJA et MERIEM, que notre amitié dure à jamais

A mes meilleurs amis : KAHINA, RADIA, AMINA et WAFI, vous êtes mes sœurs mes chères

A mon cher ami MEHDI, ton amitié m'est précieux mon frère

Antagonisme *in vivo* des isolats Algériens de *Trichoderma* sp. à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie.

Résumé

Le Mildiou de la Pomme de terre connaît une recrudescence suite à l'apparition récente de souches agressives de *Phytophthora infestans* de type A2 résistantes aux fongicides du groupe des phénylalamides (dont la matière active est le métalaxyl). Dans le cadre de la lutte biologique contre cette maladie et suite à l'efficacité révélée par les onze isolats antagonistes Algériens du genre *Trichoderma in vitro* à l'encontre de cet agent pathogène, nous avons opté pour l'étude de leur antagonisme *in vivo* à l'égard de deux souches de *P. Infestans* A1 et A2 sur les feuilles détachées de deux variétés de pomme de terre : Spunta et Kondor pour lesquelles plusieurs modalités d'application des traitements ont été prises en considération. Trois modes préventifs : par trempage des feuilles détachées dans les suspensions conidiennes, par pulvérisation des plants de pomme de terre par des suspensions d'antagonistes, par incorporation des isolats antagonistes au sol avant plantation, et un mode curatif après inoculation par l'agent pathogène.

On observe une longue période de latence et une réduction importante de la maladie pour la souche A1, la réduction atteint 88,2 % sur 'Spunta' pour le traitement par incorporation au sol et avoisine 80 % pour les autres modes d'application. Les isolats antagonistes les plus efficaces recommandés qui ont enregistré les pourcentages maximums de réduction de la maladie et de l'inhibition de la sporulation sont : l'isolat **P5E3** pour les modes préventifs par trempage et par pulvérisation, les isolats **M12**, **TCO**, et **PA** pour le mode préventif par incorporation au sol et les isolats **BK2** et **P3E2** pour le mode curatif.

Ce travail confirme le pouvoir antagoniste des isolats de *Trichoderma in vivo* vis-à-vis de *P.infestans*, ce qui laisse envisager leur application en plein champ et l'exploitation de leurs potentialités biofongicides dans la gestion du mildiou de la Pomme de terre.

Mots clés: biocontrôle, *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, *Trichoderma*.

***In vivo* antagonism of Algerian isolates of *Trichoderma* sp. against *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. the causal agent of late blight of potatoes in Algeria.**

Abstract

The blight of the potato is experiencing a resurgence following the onset of aggressive strains of *Phytophthora infestans* A2 mating type fungicide-resistant group of phenylalamides (whose active ingredient metalaxyl). As part of research on biological control methods beside this disease and following the efficient antagonists revealed by the Algerian isolates of the genus *Trichoderma* *in vitro* against this pathogen, we opted for their antagonism *in vivo* against two strains of *P. infestans* A1 and A2 mating type on detached leaves of two potato varieties: Spunta and Kondor, for which several methods for applying the treatments were considered, Three preventive methods by: dipping detached leaves in conidial suspensions, spraying plants potato by suspensions of antagonists, soil incorporation of antagonistic isolates before planting and a healing mode after inoculation by the pathogen.

We observed a long latency period and a significant disease reduction reported for the A1 mating type strain of *P. infestans*, the reduction reach 88.2% on 'Spunta' for treatment by incorporation into the soil and around 80% for other methods of application. Antagonists isolates the most effective who recorded the highest percentages of disease reduction and sporulation inhibition we recommend are: isolate **P5E3** for soaking and spraying preventives modes, isolates **M12**, **TCO** and **PA** for the soil incorporation preventive mode and isolates **BK2** and **P3E2** for the curative mode.

This study confirms the *Trichoderma* isolates's antagonistic power *in vivo* against *P. infestans*, which suggests their potential application in the field and the exploitation of their bio-fungicides potential in potato's late blight management.

Keywords: biocontrol, *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, *Trichoderma*.

النشاط العدائي في الجسم الحي للشعيرات الأدمة من صنف *Trichoderma* الجزائرية ضد عزل من سلالة *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. العامل المسبب للبياض الزغبي للبطاطا في الجزائر.

ملخص

مرض البياض الزغبي للبطاطا يشهد انتعاشا عقب ظهور سلالات عدوانية للفطر المسبب *Phytophthora infestans* من جنس A2 المقاومة لمجموعة phenylalamides للمبيدات الفطرية (المحتوية على العنصر النشط metalaxyl). كجزء من مكافحة البيولوجية ضد هذا المرض وبعد الفعالية التي كشفت عنها العزل الجزائرية من الشعيرات الأدمة من صنف *Trichoderma* في المختبر ضده ، اخترنا دراسة النشاط العدائي في الجسم الحي ضد اثنين من سلالات *P. infestans* من جنس A1 و A2 على أوراق منفصلة لنوعين من البطاطا: Spunta و Kondor ، حيث أخذنا في عين الاعتبار عدة طرق لتطبيق العلاج، ثلاث طرق وقائية: عن طريق غمس الأوراق المنفصلة في المحاليل التبوغية، رش نباتات البطاطا بالمحاليل العدائية، دمج العزل العدائية في التربة قبل الزراعة، و طريقة شفائية بعد التلقيح بمسببات المرض.

تم ملاحظة فترة كمون طويلة لظهور أعراض المرض والحد بدرجة كبيرة من المرض بالنسبة لسلالة *P. infestans* من جنس A1 ، الحد من المرض بلغ 88.2% على النوع Spunta بالنسبة للطريقة الوقائية من خلال إدماج العلاج في التربة، و حوالي 80 % بالنسبة للطرق الأخرى لتطبيق العلاجات. العزل العدائية النافعة و التي سجلت أعلى نسب للحد من المرض (حم) وتثبيط التبوغ الفطري (تف) هي: عزلة **P5E3** بالنسبة للطريقة الوقائية بالغمس وبالرش، العزل **M12**، **PA** و **TCO** بالنسبة للطريقة الوقائية من خلال الدمج في التربة و العزل **BK2** و **P3E2** بالنسبة للطريقة الشفائية. هذا العمل يؤكد على قوة النشاط العدائي لعزل *Trichoderma* في الجسم الحي ضد *P. infestans*، ما يسمح بالنظر في إمكانية تطبيقها في الميدان، واستغلال قدرتها البيولوجية كمضادات للفطريات في إدارة مرض اللفحة المتأخرة للبطاطس.

الكلمات المفتاحية: التحكم البيولوجي، *Trichoderma sp.*، *Solanum tuberosum*، *Phytophthora infestans*.

Liste des abréviations

T : Tonne

MADR : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural

CNCC : Centre National de Certification de Control

P : Phytophthora

T : Trichoderma

Gr : Grossissement

µl : Microlitre

ml : Millilitre

mg : Milligramme

PDA : Potato Dextrose Agar

RM : Réduction de la maladie

IPC : Inhibition de la production des conidies

CIP : Coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène

CIPA : Coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène et traitées par l'antagoniste

NCP : Nombre de conidies produites

NCPA : nombre de conidies par surface de feuilles inoculée par le pathogène et traitée par l'antagoniste.

ACP : Analyse en composante principale

PGPR : Plant promoting growth rhizobacteria

AMF : Arbuscul mychorizian fungi

Liste des tableaux

Tableau 1. Classement des dix premiers pays producteur de pomme de terre dans le monde année 2008 (Anonyme, 2012).....	6
Tableau 2. Bilan global de production de la pomme de terre de consommation et de multiplication durant la campagne 2009/2010 (MADR, 2011).	7, 8
Tableau 3. Principales maladies et principaux parasites limitant la culture de la pomme de terre (Anonyme, 2008).....	9, 10
Tableau 4. Données sur les variétés de pomme de terre utilisées.....	21
Tableau 5. Données relatives sur les isolats antagonistes du genre <i>Trichoderma</i>	23
Tableau 6. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en fonction des modes d'application des traitements.....	34
Tableau 7. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements, les variétés testées, les souches de <i>P. infestans</i> et les isolats antagonistes de <i>Trichoderma</i> <i>sp.</i>	35
Tableau 8. Analyse de la variance des pourcentages de réduction de la maladie en fonction des modes d'application des traitements.....	40
Tableau 9. Analyse de la variance des pourcentages de réduction de la maladie selon les modes d'application des traitements, les variétés testées, les souches de <i>P. infestans</i> et les isolats antagonistes de <i>Trichoderma</i> <i>sp.</i>	41
Tableau 10. Analyse de la variance des pourcentages d'inhibition de la sporulation selon les modes d'application des traitements.....	49

Tableau11. Analyse de la variance des pourcentages d'inhibition de production des conidies des différents modes d'application des traitements en fonction des trois paramètres étudiés.....51

Liste des figures

Figure.1 Morphologie de la pomme de terre (Soltner, 2005).....	4
Figure.2 Cycle végétatif de la pomme de terre (Soltner, 2005).....	5
Figure .3 Classement des cultures les plus importantes en Algérie année 2010 (Faostat, 2010).....	7
Figure.4 Aspect cultural d'un isolat Algérien de <i>Phytophthora infestans</i> sur milieu gélosé à base de pois (Ahmed-serrir & Moussaoui, 2011).....	11
Figure 5. Morphologie (1) de <i>P. infestans</i> (G : X500). (Ahmed- serrir et Moussaoui, 2011)	
Morphologie de l'oospore (2) de <i>P. infestans</i> (Smart et al., 2000).....	11
Figure.6 Symptômes du mildiou sur plants de pomme de terre au champ (Schepers, 2007)....	13
Figure 7. Cycle de développement du mildiou (Haine et Verlainé, 2006).....	15
Figure.8 Sections systématiques de <i>Trichoderma sp.</i> et quelques espèces agrégées (Rifai 1969).....	18
Figure 9 Aspect cultural (A) et morphologique (B) (G : 10X40) de <i>Trichoderma sp.</i> (Moumene et al., 2008).....	19
Figure10. Semences pré-germées des deux variétés de pommes de terre	22
Figure 11. Aspect cultural et morphologie des isolats A1 et A2 de <i>P. infestans</i> (Gr : x 125).....	24
Figure 12: Oospores produits de la confrontation des deux souches de <i>P. infestans</i> A1 e A2 observés au microscope (Gr x40).....	25

Figure 13. Aspect cultural et morphologie des isolats de <i>Trichoderma sp</i> testés (Gr : x500).....	27
Figure 14. Cultures pures A1 et A2 de <i>P.infestans</i> étudiées.....	28
Figure15. Récolte des feuilles à partir des plants de pomme de terre cultivés en pots et en plein champ.....	29
Figure16. Feuilles de pomme de terre détachées non traitées (à gauche) et traitées (à droite).....	29
Figure17. Préparation du matériel végétal pour l'inoculation.....	30
Figure 18. Développement des symptômes du mildiou sur les disques des feuilles inoculées.....	33
Figure19. Absence de symptômes sur les folioles détachées des deux variétés testées du témoin négatif après 2 jours (à gauche) et après neuf jours (à droite).....	34
Figure.20 Analyse de la variance modèle GLM des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements.....	36
Figure 21. Analyse de la variance des périodes d'apparition en modèle GLM des symptômes selon le témoin positif et selon les modes d'application des traitements en fonction des variétés testées....	37
Figures22. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon le témoin positif et selon les modes d'application des antagonistes en fonction des souches de <i>Phytophthora infestans</i>	38
Figures23. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon les modes d'application des traitements en fonction des isolats antagonistes de <i>Trichoderma sp</i>	39
Figure24. Analyse en composante principale (ACP) de la période d'apparition des symptômes, des différents paramètres et des onze traitements.....	40
Figure.25 Analyse de la variance des pourcentages de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements.....	41
Figures.26 Analyse de la variance des pourcentages de réduction en modèle GLM de maladie selon les modes d'application des traitements et les variétés testées.....	42

Figures27. Analyse de la variance des pourcentages de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements en fonction des souches de <i>Phytophthora infestans</i>	43
Figures.28 Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre <i>Trichoderma</i> sp. selon le mode curatif.....	44
Figures29. Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre <i>Trichoderma</i> sp. selon le mode préventif par trempage.....	45
Figures30. Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre <i>Trichoderma</i> sp. selon le mode préventif par incorporation au sol.....	46
Figure31. Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre <i>Trichoderma</i> sp. selon le mode préventif par pulvérisation.....	47
Figure 32. Analyse de la variance des pourcentages de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les isolats antagonistes du genre <i>Trichoderma</i> sp.....	48
Figure33. Analyse en composante principale (ACP) de la réduction de la maladie, des différents paramètres et des onze traitements	49
Figure34. Analyse de la variance modèle GLM des pourcentages d'inhibition de la sporulation en fonction des modes d'application des traitements.....	50
Figures35. Analyse de la variance des pourcentages de l'inhibition de la sporulation en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les variétés testées.....	51
Figure 36. Analyse de la variance des pourcentages de l'inhibition de la sporulation (IPC) en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les souches de <i>Phytophthora infestans</i>	51
Figure 37. Analyse de la variance des pourcentages de l'inhibition de la sporulation (IPC) en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les isolats antagonistes de <i>Trichoderma</i> sp.....	52

Figure38. Analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la production des sporanges, des différents paramètres et des onze traitements.....53

PDF Create! 5 Trial
www.nuance.com

Introduction

Introduction

Le mildiou ou brûlure tardive causé par *Phytophthora infestans*, est une maladie très redoutable de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. Elle est considérée comme une contrainte majeure pour la croissance et la production de cette culture stratégique pratiquement dans toutes les zones de production (Alim, 2010). Cette maladie n'a pas cessé de faire couler l'encre depuis son apparition dramatique en Irlande en 1845-46 où elle a provoqué une grande famine qui a entraîné la mort de plus d'un million d'habitants et la migration de plus d'un million et demi de personnes (Fry et Goodwin, 1997 ; Andrivon et Lebreton, 1998).

Les épidémies causées par cet agent pathogène sont extrêmement rapide en conditions favorables pour le nombre très important de spores produites et la période d'incubation courte (Mizubutl *et al.*, 2007). En zone tempérée, les conséquences économiques sont fréquentes et graves. En effet une attaque précoce peut entraîner des baisses de rendement de plus de 50 % et peut aller jusqu'à l'abandon total de la récolte, une attaque plus tardive détériore la qualité des tubercules (Andrivon *et al.*, 1997 ; Goodwin *et al.*, 1998; Zwankhuen, 1998).

En Algérie, la superficie affectée par cette maladie a été estimée entre 1.200 et 2.000 ha, soit près du tiers de la superficie globale consacrée à la culture de pomme de terre qui est de près 6.000 ha. En effet, les plaines d'El Attaf, Arib, Aïn Sultan, Amra et Rouina réputées comme principales zones productrices de la pomme de terre ont été dévastées par le mildiou durant la campagne 2005-2006 (Sofiane, 2007 in Ahmed-Serir et Moussaoui, B2011).

Toutefois, l'utilisation massive de fongicides systémiques a conduit à la sélection d'isolats résistants à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides (métalaxyl) (Gisi et Cohen., 1996).

Dans le cadre de recherche de méthodes alternatives contre cette maladie redoutable, un projet de fin d'étude récent a porté sur l'inhibition *in vitro* de *Phytophthora infestans* agent du mildiou de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) par *Trichoderma* sp., en Algérie (Hasni, 2012). Les essais de confrontation directe entre les isolats antagonistes de *Trichoderma* sp. et ceux de *P. infestans* ont révélé une forte inhibition de la croissance mycélienne et de la sporulation comme conséquence de la lyse du mycélium et la digestion du contenu des sporanges. D'autre part, le réisolement des explants des cultures de l'agent pathogène confrontés a confirmé l'inhibition de leur reprise de croissance mycélienne après repiquage sur milieu de culture (Hasni, 2012).

En outre, l'effet biofongicide et mycoparasitaire de ces isolats antagonistes à l'égard de *P. infestans* constitueraient une contribution dans le biocontrol du mildiou de la pomme de terre par le renforcement de la résistance intrinsèque du matériel végétal à cette maladie redoutable (Saadoune, 2011).

Ce présent travail vise l'antagonisme *in vivo* de *Trichoderma* sp. à l'égard de *P. infestans* Mont. de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. Il repose sur l'évaluation *in vivo* de l'activité antifongique des isolats de *Trichoderma* sp. sur la période d'apparition des symptômes, la réduction de la maladie et l'inhibition de la production sporangiale.

PDF Create! 5 Trial
www.nuance.com

Données bibliographiques

1.1 Aperçu sur la pomme de terre

1.1.1 Description botanique

La pomme de terre est une plante herbacée, tubéreuse, vivace, mais elle est cultivée comme une plante annuelle. Son système racinaire est fasciculé et très ramifié. Il a tendance à s'étendre superficiellement mais peut s'enfoncer jusqu'à 0,8 mètre de profondeur. Il est constitué de racines adventives qui apparaissent à la base des bourgeons du tubercule ou sur les nœuds des tiges enterrées ; pour cette raison, le tubercule doit être planté à une profondeur telle qu'elle permette une formation adéquate des racines et des stolons (Bock, 2012).

Les tubercules sont comestibles, de taille variable et de forme oblongue, plus ou moins allongée, cylindrique, lisse ou bosselée selon les variétés. A leur surface, on peut observer des yeux alignés sur cinq génératrices et disposés selon une courbe hélicoïdale qui court depuis la cicatrice basale jusqu'à l'apex. La couleur de la peau est généralement jaune, mais peut être rouge, noire, ou rosée. La couleur de la chair est blanche, jaune plus ou moins foncé, rose ou violette selon les variétés (Bock, 2012).

Les feuilles sont caduques, alternes et, vont de dix à vingt centimètres de long. Elles sont insérées sur la tige selon une phyllotaxie spiralée (Figure.1). Elles sont composées imparipennées et comptent 7 à 9 folioles de forme lancéolée et de taille hétérogène, les plus petites folioles s'intercalent par paires entre les plus grandes. Les feuilles basales peuvent

parfois être entières. Elles présentent des poils ou trichomes à leur surface, en quantité variable selon les cultivars (Bock, 2012).

L'inflorescence est une cyme qui naît à l'extrémité de la tige. Elle compte d'une à trente fleurs, généralement entre 7 et 15. Le nombre d'inflorescences et le nombre de fleurs par inflorescence varient fortement selon les cultivars. Le fruit de la pomme de terre est une baie qui ressemble à une petite tomate. Il n'est pas comestible. Sa forme peut être sphérique, allongée ou ovoïde. Son diamètre varie généralement de 1 à 3 cm et sa couleur peut aller du vert au jaunâtre, ou du marron rougeâtre au violet (Bock, 2012).

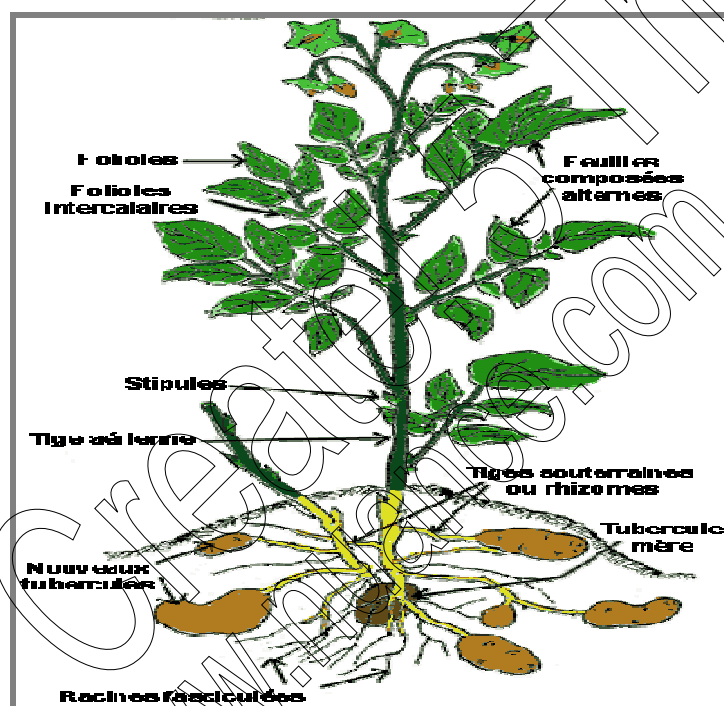


Figure .1 Morphologie de la pomme de terre (Soltner, 2005).

1.1.2 Historique

La pomme de terre existe depuis plus de 8000 ans. Elle est originaire d'Amérique du sud, plus exactement près du lac Titicaca dans les hauts plateaux andins de la cordillère des Andes au sud du Pérou et au nord de la Bolivie (Spooner *et al.*, 2005 ; Anonyme, 2012).

Elle fut introduite en Europe par l'Espagne, il y a plus de quatre siècles en 1534, puis en France et en Angleterre (Anonyme, 2006).

Propagée aussi bien par les Anglais que par les Espagnols, la pomme de terre a gagné le reste de l'Europe (Robuchon, 1994 ; Rousselle *et al.*, 1996). Depuis, elle s'est répandue dans le monde entier (Anonyme, 2006).

Cette culture a été ramenée et propagée par les maures andalous en Algérie. Elle a été faite par les français en 1856 et en 1898, mais notre pays était déjà un pays importateur de pomme de terre de terre de consommation (Inva, 2007 ; Carrier, 2008).

1.1.3 Exigences culturales

La pomme de terre s'accommode à tous les types de sols, exception faite des sols salés et alcalins. Les sols préférés sont ceux qui sont profonds, fertiles et meubles. On peut dire que son aire d'adaptation va des régions tropicales aux régions plus froides et elle réussit le mieux sous les climats tempérés humides et brumeux (Bamouh, 2003).

La température représente donc un facteur climatique très important pour le développement et la croissance de la pomme de terre. Cette croissance est ralentie à moins de 10°C, ses parties foliacées gèlent à moins de 1°C. La température optimale pour la végétation semble se situer entre 15,5 et 21°C (Clarys, 2005).

1.1.4 Cycle biologique de développement

Le cycle de la pomme de terre est très court (trois à quatre mois), depuis le semis jusqu'à la destruction de l'appareil végétatif (Martin, 2004). Il se déroule en trois phases principales (Figure.2) :

- Phase de germination, dite de croissance (Madec, 1966 in Montary, 2007).
- Phase de tubérisation (Jolivet, 1969 in Montary, 2007).
- Phase de repos végétatif, Après la récolte (Madec, 1966 In Montary, 2007).

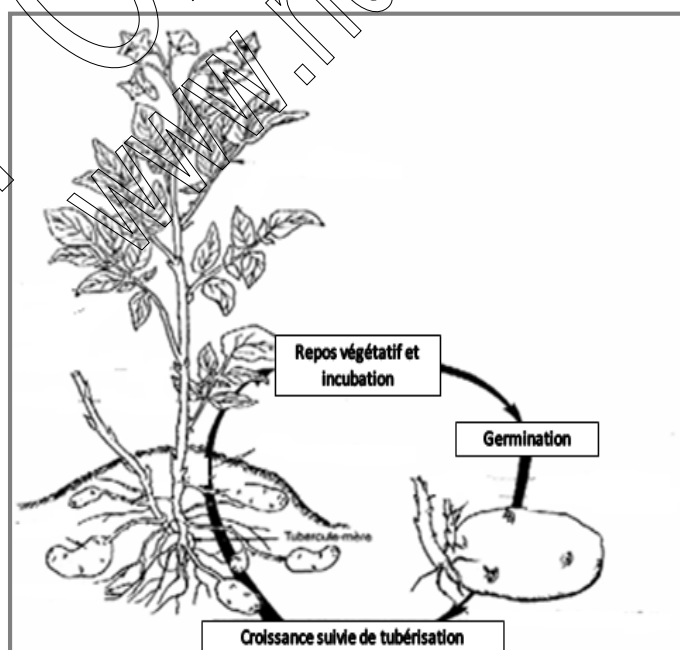


Figure .2 Cycle végétatif de la pomme de terre (Soltner, 2005).

1.1.5 Importance économique

La Pomme de terre est une culture stratégique par excellence que ce soit dans les pays développés ou ceux en voie de développement. Elle est d'une valeur énergétique considérable ; et elle constitue l'une des plus grandes cultures vivrières dans le monde. Cette plante est essentiellement connue par ses utilisations diverses dans l'alimentation de l'homme, de l'animal et dans les industries de transformation (Faostat, 2008 ; Anonyme, 2012).

La pomme de terre est cultivée dans 170 pays qui regroupent plus de trois quarts de la population mondiale. Au Marché mondial et européen, elle occupe la quatrième place après le blé, le maïs et le riz sur le plan de consommation (Faostat, 2008 ; Anonyme, 2012).

La production mondiale de pomme de terre a augmenté de 20 % au cours des vingt dernières années, pour atteindre 325 millions de tonnes en 2010 pour 20 millions d'hectares (Barat et al., 2012).

L'Asie et l'Europe sont les pays les plus grands producteurs de la pomme de terre, présentant plus de 80% de production mondiale (Tableau.1). La Chine et l'Inde sont les leaders représentant le un tiers de production mondiale (Anonyme, 2012).

En raison de ses facultés d'adaptation sous des climats très divers, cette culture peut donc contribuer de manière significative à atteindre le premier des objectifs du millénaire pour le développement, qui est de réduire de moitié l'extrême pauvreté et la faim (Anonyme, 2012).

En Afrique, elle occupe un rang inférieur avec une production d'environ 9 millions de tonnes (environ 3% de la production mondiale), dont plus de la moitié dans les pays du Maghreb (Hamdani, 2008).

Tableau .1 Classement des dix premiers pays producteurs de pomme de terre dans le monde en 2008 (Anonyme, 2012).

Position	Région	Production (Tonnes)
1	Chine	74799084
2	Inde	36577300
3	Fédération de Russie	21140500
4	Ukraine	18705000
5	Etats unis d'Amérique	18016200
6	Allemagne	10201900
7	Pologne	8765960
8	Bangladesh	7930000
9	Belarus	7831110
10	Pays bas	6843530

En effet, l'Algérie figure parmi les pays producteurs avec une production de 3.290.000 tonnes en 2010 sur une superficie d'environ 130 000 ha. L'importance de la production est due à la position géographique du pays qui permet une bonne acclimatation à la culture de pomme de terre. Cette dernière est largement répandue car, c'est un aliment de base après les céréales (Figure.3) (Faostat, 2010 ; Anonyme, 2012).

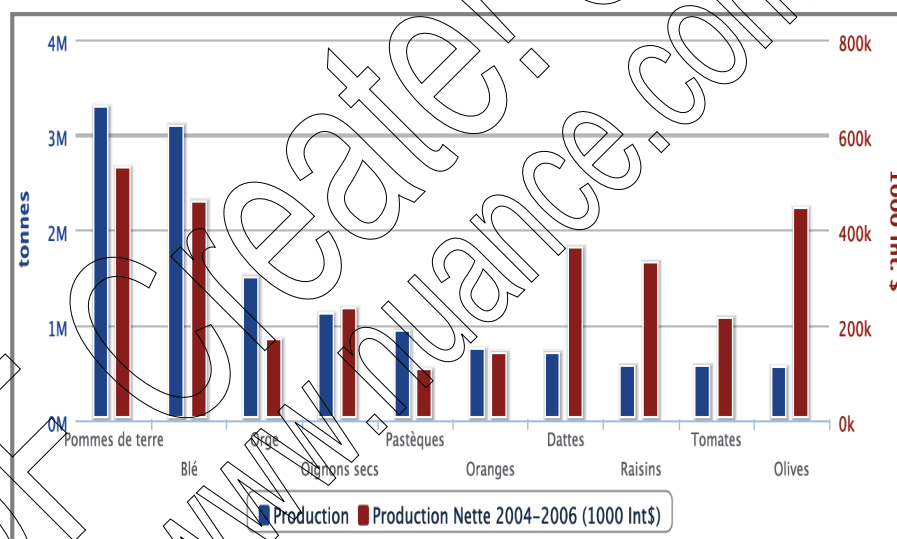


Figure .3 Classement des principales cultures en Algérie (2010) (Faostat, 2010).

Ainsi, l'Algérie est le deuxième pays producteur de pomme de terre dans le monde arabe après l'Egypte et le quatrième producteur en Afrique (Faostat, 2008).

La pomme de terre est cultivée sur tout le territoire, y compris dans les oasis du sud du pays, avec l'apparition récente du bassin spécifique d'El Oued, où la pomme de terre est devenue une spéculation majeure en quelques années. Cependant, si l'on retient les quinze wilayas où elle occupe plus d'un millier d'hectares, on pourra alors distinguer dans les zones du littoral et du sublittoral, trois bassins de production (Chehat, 2008) ; A l'Ouest, celui constitué par les wilayas de Tlemcen, Mostaganem et Chlef ; Au Centre, celui regroupant les wilayas d'Ain Defla, Tipaza, Alger, Boumerdes, Bouira et Tizi- Ouzou ; A l'Est, représenté par la wilaya de

Skikda sur le littoral et de Guelma, Setif, Mila et Batna à l'intérieur. Les wilayas d'El oued, Mascara, Mostaganem et Ain Defla représentent les principales localités productrices (Tableau.2). Les variétés Spunta, Désirée, Kondor, Batina, Timate et Atlas sont les plus cultivées (MADR, 2011).

Tableau .2 Bilan global de production de la pomme de terre de consommation et de multiplication durant la campagne 2009/2010 (MADR, 2011).

Wilaya	Superficie réalisée	Superficie récoltée	Production obtenue	Rendement q/ha
Tlemcen				
Tiaret	5962	5841	1116235	191
Mascara	4400	4395	1300350	296
Saida	10363	10357	2834204	274
Sidi bel	1335	1331	321444	242
Abbes	1533	1522	358213	235
Oran	222	222	51080	230
Ain	313	313	46800	150
Témouchet	1675	1675	499360	298
Relizane	158	158	24450	155
Tissemsilt	630	630	96500	153
El Bayadh	10349	10349	2442750	237
Mostaganem	420	420	82600	197
Naâma				
S/T ouest	37359	37158	9173986	247
Chlef	4906	4906	1498157	306
Ain Defla	18565	18279	5147422	282
Béjaia	396	396	103633	262
Blida	963	963	442223	459
Bouira	4742	4586	1421072	310
Tizi Ouzou	1660	1575	310552	197
Alger	2055	2052	661025	322
Djelfa	1820	1810	307400	170
Médeâ	1637	1637	401246	245
M'sila	808	808	168065	208
Boumerdes	2948	2919	898933	308
Tipaza	3784	3705	935160	252
S/T Centre	44283	43633	12294888	282
Batna	2270	2270	588600	259
O,E,Bouaghi	663	655	157071	240
Setif	2894	2880	629074	218
Skikda	3271	3228	768832	238
Jijel	568	568	90153	159
Annaba	71	71	13499	190
Guelma	2811	2768	621586	225
Constantine	444	444	115640	260

B.B.Arréridj	355	353	57250	162
El Tarf	540	532	96890	182
Khenchela	199	199	31300	157
Souk Ahras	533	533	132300	248
Tébessa	2560	2534	602665	238
Mila	1403	1363	396045	291
S/T Est	18582	18398	4300905	234
Adrar	218	218	37323	171
Laghouat	1515	1515	377990	249
Biskra	35	35	7700	220
Béchar	95	95	13800	145
Ouargla	250	250	62079	248
Ghardaia	387	387	119200	308
El oued	18800	18800	6206320	330
Tindouf	0	0	0	0
Illizi	0	0	0	0
Tamarasset	49	49	6109	125
S/T Sud	21349	21349	6830430	320
TOTAL GENERAL	121574	120537	32600208	270

La plasticité culturelle de la pomme de terre lui permet de s'adapter à la diversité des agro-écosystèmes algériens et la courte période de croissance et de développement de la plante permet la réalisation de trois récoltes par an (Chehat, 2008).

En terme d'importance, les cultures de saison (plantation janvier-mars) sont dominantes, suivies par les cultures d'arrière-saison (plantation juillet-août), Enfin viennent les cultures de primeur (plantation octobre-novembre). (Chehat, 2008).

1.1.6 Problèmes Phytosanitaires

Malgré sa diffusion mondiale, il existe de grandes disparités dans la productivité de la pomme de terre entre les pays et les régions. La pomme de terre est sensible aux maladies, aux ravageurs (Tableu.3) et aux fluctuations climatiques. Une des causes de sa fragilité est sa faible diversité génétique, liée à son introduction récente dans de nombreux pays et sa multiplication par voie végétative (Changins *et al*, 2008).

La production potentielle de tubercules de pommes de terre pourrait atteindre 400 millions de tonnes dans le monde entier si ces maladies pourraient être efficacement contrôlées. Jusqu'ici, le contrôle chimique, saisi d'engrais, l'irrigation et l'utilisation de semence certifiée est la façon principale d'obtenir de hauts rendements (Changins *et al.*, 2008).

Tableau .3 Principales maladies et principaux ravageurs limitant la culture de la pomme de terre (Anonyme, 2008).

Origine	Maladie	Agent causal
Maladies bactériennes	Flétrissement bactérien de la pomme de terre	<i>Ralstonia solanacearum</i>
	Jambe noire de la pomme de terre	<i>Erwinia carotovora</i>
	Flétrissement bactérien de la pomme de terre	<i>Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus</i>
	Gale commune de la pomme de terre	<i>Streptomyces scabiei</i>
Maladies fongiques	Mildiou de la pomme de terre	<i>Phytophthora infestans</i>
	Alternariose	<i>Alternaria solani</i>
	Verticilliose	<i>Verticillium spp.</i>
	Gale argentée de la pomme de terre	<i>Helminthosporium solani</i>
	Gale poudreuse de la pomme de terre	<i>Spongospora subterranea</i>
	Dartrose	<i>Colletotrichum coccodes</i>
	Galles verruqueuses	<i>Synchytrium endobioticum</i>
	Flétrissement fusarien	<i>Fusarium spp</i>
	Taches noires de la pomme de terre	<i>Alternaria alternata</i>
Nématodes parasites	Nématodes à kyste	<i>Globodera pallida, Globodera rostochiensis</i>
	Nématodes à galles	<i>Meloidogyne spp.</i>
Maladies virales	PVY genre <i>Potyvirus</i>	Le virus Y de la pomme de terre
	PVX genre <i>Potexvirus</i>	Le virus X de la pomme de terre
	PLRV genre <i>Luteovirus</i>	Le virus de l'enroulement de la pomme de terre
	PVS genre <i>Potyvirus</i>	Le virus S de la pomme de terre
	PVA genre <i>Potyvirus</i>	Le virus A de la pomme de terre
Insectes	doryphore de la pomme de terre	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>
	Teigne de la pomme de terre	<i>Phythorimaea operculella</i>

1.2 Généralités sur l'agent phytopathogène

1.2.1 Systématique

Le genre *Phytophthora* signifie destructeur de plantes. Il regroupe environ 35 espèces, appartenant à la classe des *oomycètes* qui sont essentiellement terrestres, mais en présence d'eau, elles produisent des zoospores mobiles (Peter *et al.*, 2003). Ils forment un genre important responsable de nombreuses maladies des végétaux au sein de la famille des *Pythiacées*, et de l'ordre de *Péronosporales*. *Phytophthora infestans*, a été longtemps considéré comme tous les *oomycètes* un champignon, cependant il a été récemment classé comme protiste fongiforme (Legemble, 2008). Les *oomycètes* présentent une croissance

filamenteuse qui les fait ressembler à des champignons mais les connaissances actuelles sur leur structure amène à les apparenter plutôt aux algues bien que, contrairement à ces dernières, ils n'aient pas de chlorophylle (Rohner, 2002).

1.2.2 Aspect culturel de *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans se comporte dans la nature comme un biotrophe obligatoire (Isaac, 1992 ; Kosack et Parker, 2003), sans capacité de survie saprophyte (Adrion, 1995), mais il peut tout de même être isolé et cultivé en milieu de culture artificiel (Figure.4).



Figure .4 Aspect culturel d'un isolat Algérien de *Phytophthora infestans* sur milieu gélosé à base de petit pois (Ahmed-serrir & Moussaoui, 2011).

1.2.3 Morphologie

Phytophthora infestans possède un mycélium coenocytique hyalin et un développement endogène (Chamont, 2010). Le caractère morphologique principal de ce phytopathogène est la présence de renflement ou de gonflement au niveau des sites de ramification en particulier aux points de la formation des sporocystes (Thurston et Schultz, 1981) (Figure5.1). Ces derniers en position terminale ont une forme et une taille variable selon les isolats. Les sporanges sont citriformes et possèdent une papille apicale, et renferment des cellules mobiles appelées zoospores qui assurent la reproduction asexuée. Ces zoospores se déplacent grâce à deux flagelles dissemblables (Bouchet *et al.*, 2000). Les oospores sont pour la plupart de forme aplérotique avec un diamètre moyen d'environ 30 μm (Gallegly et Hong, 2008) (Figure 5.2). Les oogones sont globuleuses, d'un diamètre de 37 μm , alors que les anthéridies sont amphigines et généralement de forme allongée (Gallegly et hong, 2008).



**Figure .5 Morphologie (1) de *P. infestans* (Gr : X500)(Ahmed- serrir et Moussaoui, 2011)
Morphologie de l'oospore (2) de *P. infestans* (Gr : X1250) (Smart *et al.*, 2000).**

1.2.4 Spécificité parasitaire

Cet agent phytopathogène provoque des dégâts très répandus chez de nombreuses plantes cultivées, comme le cacaoyer, les ananas, les tomates, l'*Hévéa*, les papayers, les oignons, les fraisiers, les pommiers, le soja, le tabac, et les *citrus*. L'espèce la plus connue de ce genre est *Phytophthora infestans*, agent responsable du mildiou de la pomme de terre (Peter *et al.*, 2003) et/ou d'autres solanacées cultivées comme la tomate, l'aubergine, le poivron et solanacées sauvages comme les morelles (Legemle, 2008). Aux Etats Unis, plusieurs investigations ont confirmé que la morelle (*Solanum safrachioides*), *petunia* (*Petunia hybrida*) et l'aigre-doux (*Solanum bulbocamara*) constituent aussi des hôtes pour ce pathogène (Laing, 1998). Cependant, plusieurs autres cultures appartenant à d'autres genres et espèces d'arbres tropicaux et arbustes se sont révélées des hôtes pour ce phytoparasite (Vartanian et Endo, 1985 ; Erwin et Ribeiro, 1996). Christine *et al.* (2000) ont conclu que la large apparition de nouveaux génotypes de *Phytophthora infestans* a contribué à l'élargissement de sa gamme d'hôtes.

1.3 Généralités sur la maladie

1.3.1 Historique

En Amérique du nord, le mildiou fut observé pour la première fois en 1843 près de Philadelphie aux Etats-Unis (Lacroix, 1999), alors que, la première épidémie en Europe remonte à 1845. Elle démarra en Belgique, puis se propagea, vers la Suisse, la France, le sud de l'Angleterre et en Irlande où elle provoqua une catastrophe alimentaire sans précédent. Entre 1846 et 1851, la famine provoquée par le manque de pomme de terre fit plus d'un million de morts et fit émigrer un autre million d'Irlandais aux USA et au Canada (Woodham Smith, 1962; Hampton, 1992). En Afrique, la maladie a été détectée pour la première fois en 1941 (Sediqui *et al.*, 1997 in Hammi, 2003).

1.3.2 Symptômes

Le mildiou, causé par *Phytophthora infestans* attaque toutes les parties de la plante ; les jeunes pousses, les feuilles, les pétioles, les bouquets terminaux, les tiges et les tubercules (Figure 6 :J,K). Ses symptômes développés trois à cinq jours après l'infection, se manifestent par des taches aqueuses circulaires ou irrégulières aux extrémités des feuilles basales, décolorées et entourées d'un halo jaune sur la face supérieure des feuilles, elles s'agrandissent et deviennent brun foncé. Sur la face inférieure des feuilles et en conditions humides, les fructifications du champignon apparaissent sur le pourtour des taches et donnent un duvet blanchâtre caractéristique (Figure 6 :A,B,C,D) (Paitier, 1980 ; Maaaro, 2010).

Sur tige, le symptôme typique est une nécrose brune violacée, s'étendant sur 2 à 10 cm à partir d'un nœud. Par temps humide, cette nécrose se couvre d'une pulvérescence blanche ou grisâtre, formant des organes de multiplication du pathogène (Figure 6 :E,F,G) (Rousselle *et al.*, 1996).

L'infection des tubercules se manifeste sur la peau par des lésions grisâtres irrégulières. Tandis que la chair présente une altération de couleur brunâtre avec une texture souvent granuleuse. Il en résulte une pourriture sèche (Figure 6 :H,I) (Thurston et Shultz, 1981 ; Henfling, 1987).

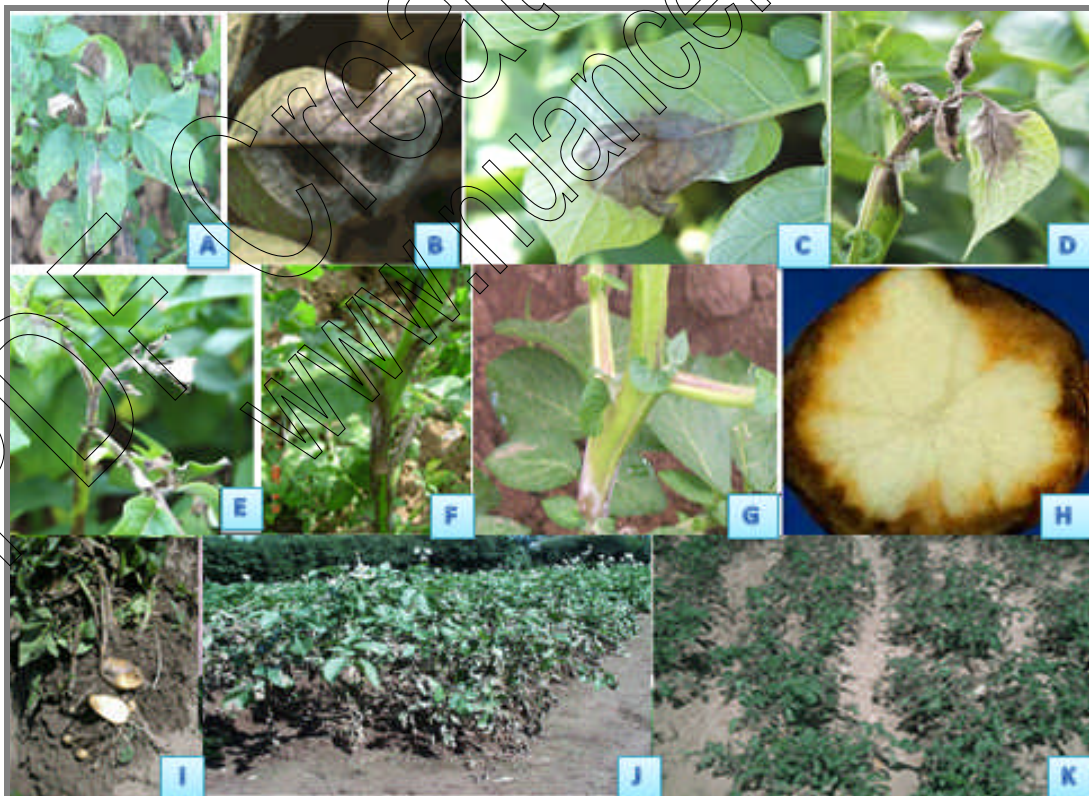


Figure .6 Symptômes du mildiou sur plants de pomme de terre au champ (Schepers, 2007)

A, B et C: symptômes sur les feuilles, D et E : symptômes au niveau des bouquets terminaux.
F et G: symptômes sur tige, H et I: sur tubercules, J et K: symptômes au champ.

1.3.3 Importance économique de la maladie

Le mildiou (*Phytophthora infestans*) est une maladie cryptogamique redoutable de la pomme de terre. Ces dernières années, des souches extrêmement agressives, la plupart résistantes aux fongicides synthétiques courants ont fait leur apparition, créant de nouveaux défis pour les producteurs de pommes de terre et de tomates. Elle peut détruire toute une récolte et se traduire par une perte complète de rendement (Kuepper et Preston, 2004).

En effet, cette dernière peut atteindre les 100%, et en moins de trois semaines, une culture de pomme de terre peut être entièrement détruite (Gaucher *et al.*, 1998). Les attaques précoces induisent une diminution de la photosynthèse, alors que les attaques tardives conduisent à une baisse de la qualité des tubercules (Radtke et Rieckmann, 1991 ; Dubois, 2009).

1.3.4 Cycle biologique de la maladie

Le cycle biologique de *P. infestans* comprend un cycle sexué et un cycle asexué. Ce dernier est la force motrice assurant les épidémies polycycliques rapides, qui peuvent être observées dans les cultures de pomme de terre pendant la saison de croissance (Kessel et Förch, 2006).

Les sporocystes constituent l'unité de la reproduction asexuée. Ils germent soit directement par émission d'un ou de plusieurs tubes germinatifs soit indirectement par production des zoospores (Harrison, 1990). Ces propagules seront à l'origine des contaminations secondaires. L'infection des tubercules se fait souvent par les zoospores de *P. infestans* qui sont facilement drainées avec l'eau d'irrigation ou des précipitations. Le phytopathogène infecte les tubercules au niveau des lenticelles, les yeux, les stolons ou les blessures mais ne pénètre jamais à travers le périoderme (Swizynsky et Zimnoch-Guzowska, 2001).

Hainé et Verlainne (2006), distinguent trois périodes dans le cycle du mildiou durant une année : la survie hivernale, l'installation de l'inoculum primaire au printemps et la multiplication des cycles et une extension de la maladie en été. Le champignon passe l'hiver sur les débris de récolte puis, réapparaît à l'air libre au printemps suivant. Il émet des spores qui vont se propager sur d'autres plants si les conditions sont favorables à savoir une humidité élevée et une température d'environ 20°C. La propagation est alors rapide, le feuillage se dessèche, les spores tombent au sol et se fixent au tubercule pour l'infester (Figure.7) (Polèse, 2006).

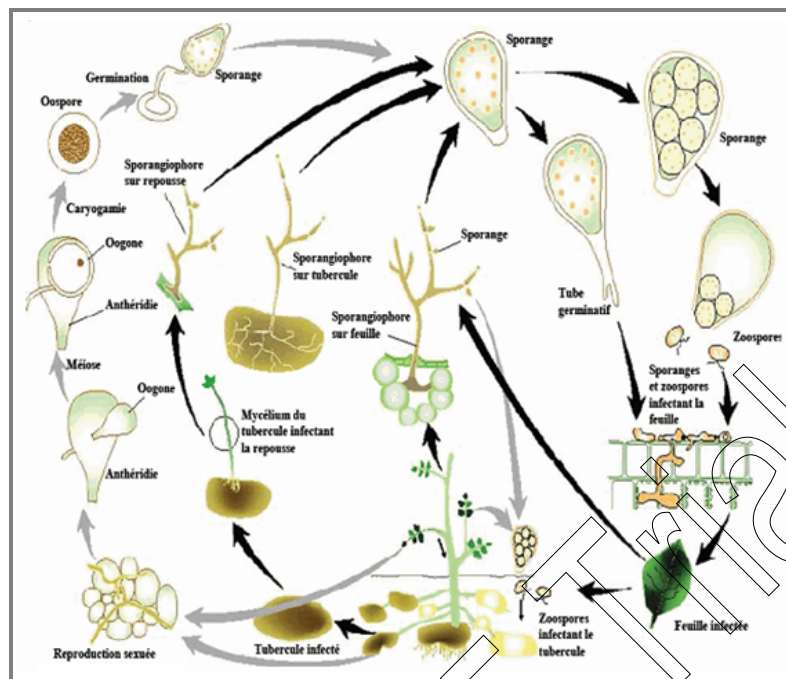


Figure .7 Cycle de développement du mildiou (Haine et Verlainne, 2006).

1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre

Plusieurs méthodes de lutte peuvent être préconisées contre le mildiou de la pomme de terre.

1.4.1 Méthodes préventives et prophylactiques

Le meilleur moyen préconisé actuellement est d'abord de limiter au maximum les sources d'inoculum primaire en éliminant principalement les tas de déchets, et en effectuant des rotations culturales pour éviter les infections par les oospores. La prophylaxie contre cette maladie doit se raisonner à long terme. Il faudrait que l'ensemble des producteurs, évite de laisser pendant l'hiver, des organes contaminés susceptibles de rester vivants et de se développer au printemps suivant (Legemble, 2008).

1.4.2 Lutte chimique

L'utilisation des fongicides de contact dont la matière active est le cymoxanil ou des fongicides systémiques pour lesquels le métalaxyl représente la matière active la plus importante, reste la principale mesure de lutte contre le mildiou de la pomme de terre (Shwinn et Margot, 1991 ; Duvauchelle et Andrivon, 1996 ; Andrivon et Lebreton, 1997).

Toutefois, l'utilisation massive des fongicides systémiques a conduit à sélectionner des isolats résistants à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides. De plus, les effets nocifs de l'emploi des pesticides sur la santé des utilisateurs et sur l'environnement amènent aujourd'hui à les utiliser d'une façon plus raisonnée. Ainsi,

des systèmes de prévisions des risques ont été développés afin de rationaliser l'utilisation des traitements chimiques préventifs (Montarry, 2008). Cependant, en Algérie, la lutte contre le mildiou de la pomme de terre reste basée sur l'utilisation par alternance de produits chimiques de contact et systémiques en tenant compte des conditions climatiques (Gisi et Cohen, 1996).

1.4.3 Lutte génétique

La meilleure alternative à l'utilisation des fongicides est la lutte génétique. De nombreux programmes reposant sur l'introduction de gènes de résistance ont été engagés, pour la sélection de variétés de bonne valeur agronomique et une bonne résistance au mildiou. Ces programmes se sont longtemps basés sur l'introduction de résistances spécifiques, à caractère monogénique. Actuellement, onze de ces gènes (R1-R11) ont été identifiés et introduits chez *Solanum tuberosum* à partir de *S. demissum*.

Des gènes similaires ont également été identifiés chez d'autres espèces apparentées à *S. tuberosum*, telles que *S. bulbocastanum*, *S. berthaultii* ou *S. phureja*. Cependant, ces gènes sont très rapidement contournés par les populations parasites et ne peuvent constituer à eux seuls une méthode de lutte durable. Les sélectionneurs s'orientent vers la recherche de résistances polygéniques (Montarry, 2008).

1.4.4 Lutte biologique

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux ont été menés dans le but de rechercher des méthodes de protection du rendement plus respectueuses de la santé humaine et de l'environnement (Ngamo et Hance, 2007).

Avec l'avènement des techniques de biologie moléculaire et dans le cadre de la recherche des méthodes alternatives de protection des cultures, plusieurs laboratoires académiques et publics ainsi que des entreprises privées dans le monde, se sont intéressés au développement de la lutte biologique, associée souvent à l'utilisation de biopesticides. En effet, leur développement dont l'usage des phytopesticides, produits de la biodiversité locale, se présente aujourd'hui comme une alternative prometteuse. Dans ce sens, différents essais ont déjà mis en évidence l'action de certains extraits végétaux et des huiles essentielles contre l'agent pathogène du mildiou de la pomme de terre (Blaeser, 1999; Latten, 1994; Neuhoff, 2002 *in* Krebs *et al.*, 2006).

Par ailleurs, le comportement de plusieurs espèces de *Phytophthora* est influencé par les micro-organismes du sol induisant soit la stimulation soit l'antagonisme (Malajczuk, 1983). Ainsi, des bactéries antagonistes de *P. infestans* tels que *Xenorhabdus bovienii* (*Enterobacteriaceae*), *Bacillus*, *Pseudomonas* et *Sterptomyces*, pourraient contribuer à limiter

l'infection du feuillage ou des tubercules de pomme de terre (Lacey, 1965 ; Malajczuk, 1983 ; Andrivon, 1994). Selon ces auteurs, les différents mécanismes d'antagonisme évoqués *in vitro* ou dans le sol vis à vis du *P. infestans* sont la fongistase, la lyse structurale du champignon et la production des antibiotiques. Néanmoins, les études de l'action antagoniste de plusieurs bactéries, virus et champignons vis à vis du pathogène sont en cours d'expérimentation en plein champ.

Par ailleurs, l'étude menée en Allemagne par, Blaeser et Steiner (1998), a montré l'efficacité de 35 extraits de plants vis à vis du mildiou de la tomate cultivée sous serre. Ces auteurs ont rapporté que 32% des extraits ont une efficacité comprise entre 50 et 80% alors que 5 % de ces extraits sont capables de réduire l'infection à des taux supérieurs à 80%. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les extraits de *Potentilla erecta* (90%) et *Salvia officinalis* (83%).

1.5 Aperçu sur les *Trichoderma* sp

Le genre un ensemble *Trichoderma* regroupe de champignons imparfaits saprophytes est un champignon filamenteux cosmopolite très abondant dans les sols, les humus et sur les débris végétaux en décomposition et les organes aériens des plants. Bien qu'il soit considéré comme un contaminant universel, On le reconnaît facilement en culture grâce à la couleur généralement verdâtre de ses spores et le port typique de ses phialides (en forme de quilles). (Howell, 2003 ; Kredics et al, 2003 ; Johanne Caron, 2005)

1.5-1- Taxonomie

Les *Trichoderma* se présentent sous deux formes :

-La **forme parfaite** dont le genre est *Hypocrea* appartenant à la classe des *Ascomycètes*, l'ordre des *Sphaëriales* et la famille des *Hypocréacées* (Bellahcene, 1990 ; Besnard, 1992).

-La **forme imparfaite** représentée par le genre *Trichoderma*, appartenant à la classe des *Adelomycètes*, l'ordre des *Hyphales (Moniliales)* et la famille des *Mucédinacées (Moniliacées)* (Bellahcene, 1990).

En revanche, la biologie moléculaire nous a révélé que des espèces de *Trichoderma* génétiquement différentes, présentant des similitudes morphologiques spectaculaires. Ce qui confirme que les critères morphologiques seuls ne suffisent plus pour une classification incontestable et rigoureuse des formes anamorphes de *Trichoderma* sp. (Cournut., 1984 ; Sugiyama., 1987).

D'où leur position taxonomique actuelle se distingue en cinq sections (Figure8) (Bissett, 2004):

- **Embranchement** : *Amastigomycota* et/ou *Eumycètes*

- **Sous embranchement** : *Ascomycotina*
- **Classe** : *Sordariomycètes*
- **Ordre** : *Hypocréales*
- **Famille** : *Hypocraceae*
- **Genre** : *Trichoderma*

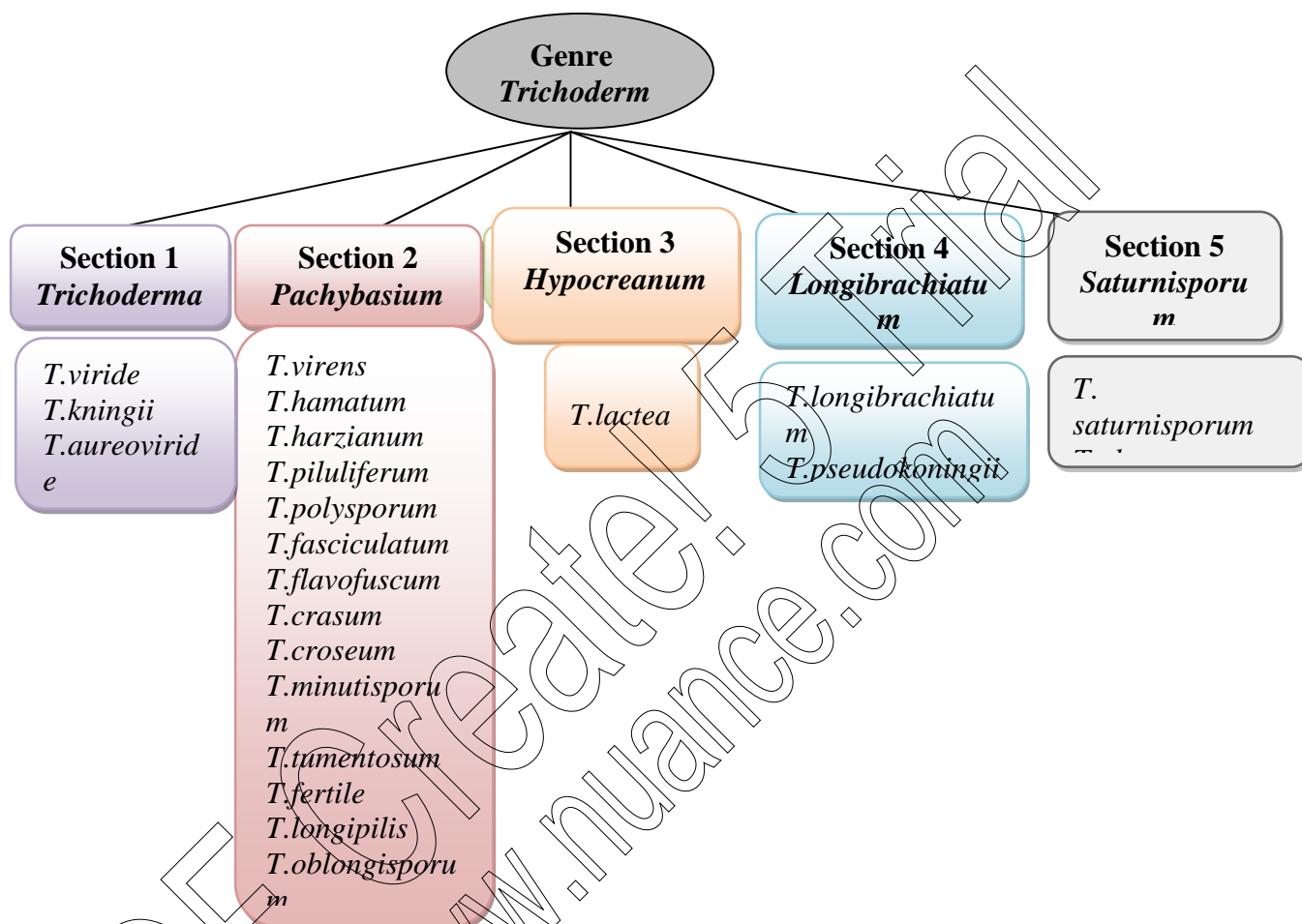
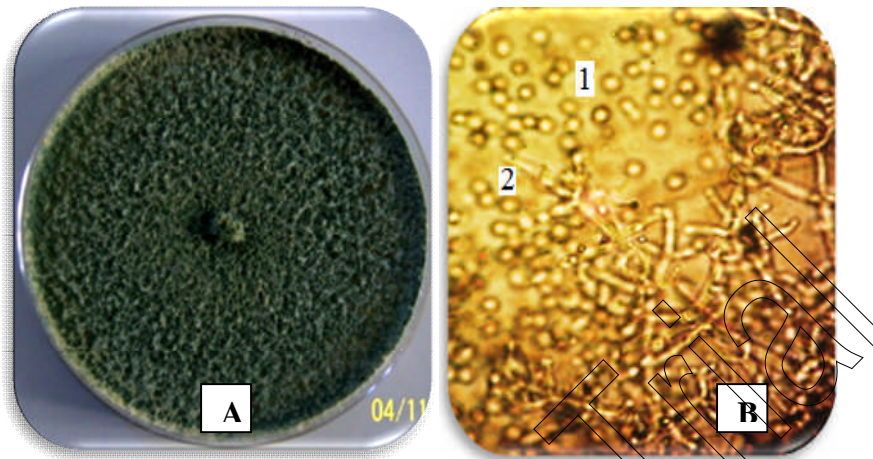


Figure 8. Sections systématiques de *Trichoderma sp.* et quelques espèces agrégées de Rifai (1969 in Bisset, 1991).

1-5-2- Caractérisation culturelle et morphologique

Les colonies des *Trichoderma* sont largement touffues, caractérisées par une croissance rapide. Le Thalle est rampant d'abord blanc puis vert olive pour *T. harzianum* (Figure9.A) et vert bleu pour *T. viride* (Botton *et al.*, 1985). Le mycélium est cloisonné. Les hyphes sont lisses et très ramifiés donnant des branches dressées formant des conidiophores, suivant une structure pyramidale avec une forme générale conique, portant presque perpendiculairement des phialides en forme de quille ou de bouteille, supportant à leurs extrémités des glomérules de conidies (Figure9.B) (Botton *et al.*, 1895 ; Bellahcene, 1990 ; Besnard, 1992). Les conidies sont vertes, subglobuleuses, lisses avec les dimensions de (2,8 - 3,2 X 2,5 – 2, 8µm) pour *T. harzianum* et globuleuses, granuleuses et de (3,5- 4,5X2,5-3,2

µm) de dimensions pour *T. viride* (Botton *et al.*, 1985). Les structures de résistance sont représentées par les chlamydospores, qui sont globuleuses, hyalines atteignant 6-12µm de diamètre pour *T. harzianum* et 14µm pour *T. viride* (Botton *et al.*, 1985).



1. Conidies
2. Phialide

Figure9. Aspect cultural (A) et morphologique (B) (Gr x 500) de *Trichoderma* sp. (Moumene *et al.*, 2008)

1.5.3 Ecologie

L'apport et l'installation d'un agent antagoniste au sein d'un écosystème nécessitent la connaissance du microorganisme, ses modes d'action et ses exigences écologiques (Bellahcene, 1990). En effet, Domsch *et al.* (1980) in Ait Yahia (1996) ont rapporté que les *Trichoderma* peuvent se développer à des températures allant de 15 à 35°C. Cependant, la température optimale de croissance est variable selon les espèces. Elle est de 28 à 30 °C pour *T. harzianum*, 22 à 25 °C pour *T. viride* (Danielson & Davet, 1973 in Davet, 1983).

Par ailleurs, Dommergues et Manganot (1970) ont classé les *Trichoderma* parmi les microorganismes indifférents, se développant dans une large gamme de pH, comme *T. viride* qui se développe bien entre les pH 2 et 8. Selon Bellahcene (1990), les sols acides favorisent leur développement.

Cependant, ces antagonistes fongiques semblent mal résister à la dessiccation. Dans le sol les populations décroissent rapidement lorsque la teneur en eau descend au-dessous de 10 à 20% de la capacité de rétention (Davet, 1983).

D'autre part, Alabouvette *et al.* (1983) ont affirmé que leur développement varie selon les quantités de carbone et de l'azote offertes par le milieu. L'apport de matière organique dans les sols permet donc, aux *Trichoderma* et autres agents antagonistes d'y exprimer leurs capacités antagonistes.

1.5.4. Intérêt de l'utilisation de *Trichoderma* sp. dans l'agriculture biologique

Les propriétés antagonistes du *Trichoderma* sp. sont connues depuis longtemps puisque la première publication qui en fait mention date de 1887 (citée dans Lamy Krafft & Roquebert 1981). Il a été utilisé comme agent de lutte biologique contre un large spectre de phytopathogènes. Son antagonisme se manifeste généralement soit par une compétition, un mycoparasitisme, ou par une antibiose. Ces mécanismes peuvent intervenir seuls, en association ou séquentiellement (Lepoivre, 2003).

Par ailleurs, les travaux de Baker (1988) et de Lynch *et al.* (1991a) ont montré que certaines souches du *Trichoderma* semblaient exercer une action stimulatrice sur la croissance de certaines plantes. Dans ce cadre, Lynch *et al.* (1991a, 1991b) ont étudié l'effet du *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et son aptitude à lutter contre *Rhizoctonia solani* Kühn. et *Pythium ultimum* Trow. Ils ont aussi démontré l'effet de certaines souches du *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et la germination des graines en absence de tout agent pathogène.

En Algérie, deux études récentes, l'une portant sur le biocontrol du mildiou de la pomme de terre a confirmé l'effet eliciteur ou biofongicide des isolats algériens antagonistes de *Trichoderma* sp. vis-à-vis des isolats de *P. infestans* (Saadoune, 2011) et, l'autre, sur l'impact de leur utilisation a révélé leur effet phytostimulant sur la culture de la pomme de terre (Djafer, 2011).

Matérials

&

Méthodes

Ce présent travail vise l'étude du pouvoir antifongique *in vivo* de *Trichoderma* sp. à l'égard de *P.infestans* agent responsable du mildiou de la pomme de terre.

2.1 Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé comporte le matériel végétal représenté par les tubercules de semences de deux variétés de pomme de terre : Spunta et Kondor et, le matériel fongique constitué par onze souches de *Trichoderma. sp*, et deux isolats A1 et A2 de *Phytophthora infestans*.

2.1.1 Tubercules de semences de pomme de terre

Deux variétés de pomme de terre homologuées, certifiées et largement cultivées en Algérie, à savoir Spunta et Kondor ont été retenues pour étudier le pouvoir antifongique des isolats antagonistes du genre *Trichoderma* (Figure). Ces derniers nous ont été fournis par le Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (C.N.C.C) d'EL Harrach . Les caractéristiques de ces deux variétés ont été rapportées par Peeten *et al.* (2007) et résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4. Données sur les variétés de pomme de terre utilisées

Caractéristique	Variétés	
	Spunta	Kondor
Provenance	Nederland	
Maturité	mi-précoce, dormance mi-longue a longue	mi-précoce, mi-tardive, dormance longue
Description du tubercule	Très gros, allongée, peau jaune	Très gros, ovale a allongée, peau rouge
Type culinaire	E	E
Date de certification	12/11/2010	16/11/2010
Calibrage (mm)	35/55	35/44
Rendement	Élevé, calibrage uniforme	Très élevé, Calibrage uniforme
Germe	Grand, cylindrique et gros, radicelles abondantes et nombreuses	Grand, conique radicelles assez nombreuses

(Peeten *et al.*,2007).



Figure10. Semences pré-germées des deux variétés de pommes de terre

2.1.2 Matériel fongique

2.1.2.1 Les isolats antagonistes

Notre travail repose sur l'utilisation de onze isolats de *Trichoderma* sp. dont six ont été prélevés de la rhizosphère des zones productrices de la pomme de terre, ayant fait l'objet de mémoire de fin d'étude de Hasni (2012) et, cinq autres isolats, ayant fait l'objet d'un projet de recherche Duras/Nematus sur la biodiversité des nématodes et les champignons nématophages des cultures maraîchères (2005/2008) (Moumene *et al.*, 2008) et des travaux de mémoires de fin d'étude de Labdi (2008), Hamlaoui (2008) et , Saadoune (2011).

Les isolats purifiés et conservés à l'abri des contaminations ont tous été produits en masse sur milieu PDA (Composition voir annexe) et incubés à une température de 28°C pendant 2 semaines (Labdi,2008 ; Saadoune,2011).

Tableau5 : Données relatives sur les isolats antagonistes du genre *Trichoderma*

Wilaya	Commune	Culture installée	Etat du sol par apport au mildiou	Date de prélèvement	Code de la souche
Mostaganem	Stidia	Pomme de terre	Sain	03 Mars 2011	P1E2
Tipaza	Bourkika	Pomme de	Malade	05 Avril 2011	BK2

		terre (Désiré)			
Ain Defla	El abadia	Pomme de terre	Malade	Avril 2011	P5E3
Ain Defla	Amra	Pomme de terre	Malade	12 Avril 2011	M12
Alger	Zéralda	Pomme de terre (Spunta)	Sain	08 Mars 2011	P3E2
Bechar	Abadla	Pomme de terre	Sain	2011	ABS1
Tipaza	Fouka	Culture maraichère		2009	PA
Mascara	Mascara	Tubercule de pomme de terre		2009	TVIR
Skikda	Collo	Courgette		2009	TCO
El Oued	El Oued	Culture maraichère		2008	TO
Alger	Staoueli	Tomate industrielle	/	2009	TS

2.1.2.2 Les souches phytopathogènes

Deux isolats fongiques purifiés de types sexuels A1 et A2, provenant respectivement des deux localités de production de pomme de terre : Ain Defla et Bourkika (Wilaya de Tipaza) (Figure.), ont été prélevés à partir d'une collection d'isolats algériens de *P. infestans*. Ces derniers ont été entretenus régulièrement par repiquage sur milieu à base de petits pois (composition voir annexe) et incubés à 18°C pendant 20 jours (Hammi, 2003).

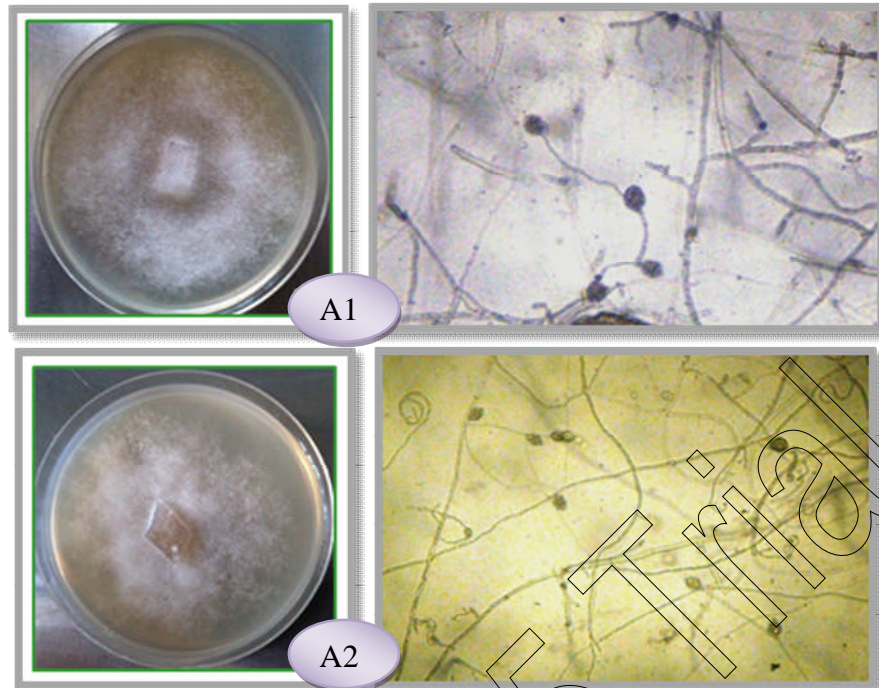


Figure 11. Aspect culturel et morphologie des isolats A1 et A2 de *P. infestans* (Gr : x 125)

Afin de s'assurer des types sexuels opposés de nos isolats de *Phytophthora infestans* étudiés, nous avons opté pour leur croisement. Les souches repiquées se développent alors sur le milieu de culture et leurs mycéliums respectifs se rencontrent et fusionnent. Au point de rencontre des deux souches, des observations microscopiques sont réalisées afin de visualiser les cellules reproductrices. Le développement d'oospores au point de rencontre démontre l'opposition des types sexuels A1 et A2.

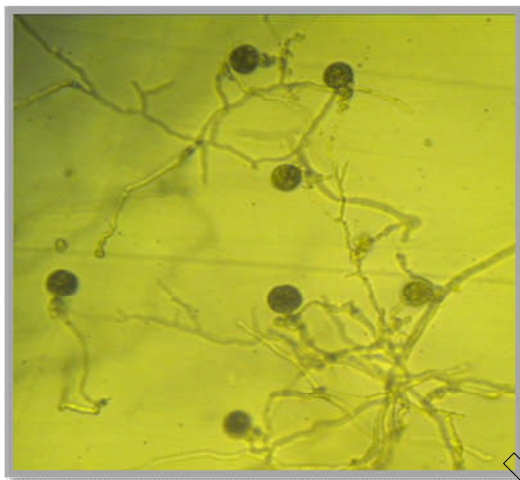


Figure 12: Oospores produits de la confrontation des deux souches de *P. infestans* A1 e A2 observés au microscope (Gr x 500).

2.2 Méthode de travail

Notre expérimentation a débuté en avril 2011 et a pris fin le 10 août 2011.

Elle s'est déroulée au niveau de la station régionale de la protection des végétaux (SRPV) de Boufarik (Wilaya de Blida). Elle comporte les étapes suivantes :

- Mise en culture des deux variétés de pomme de terre en pots et en plein champ,
- Préparation des suspensions conidiennes (traitements) des isolats de *Trichoderma sp.*
- Préparation des suspensions sporangiales des deux isolats de *P. infestans*,
- Traitements et inoculations,
- Evaluation *in vivo* de l'activité antifongique des isolats de *Trichoderma sp.*,
- Analyse statistique.

2.2.1 Mise en culture de la pomme de terre

Les tubercules prégermés de pomme de terre ont été plantés à raison d'un tubercule par pot, dont le substrat est constitué par un mélange de 2/3 de sol non exploité et 1/3 de tourbe (Campobello et *al.*, 2002), à une profondeur de 5 à 6 cm. Différents traitements ont été appliqués à raison de deux répétitions par traitement pour chaque variété et pour chaque mode d'application, ce qui donne un total de 110 pots. Ces derniers ont été placés sous serre au niveau de la Station Régionale de la Protection des végétaux à Boufarik et, arrosées à l'eau de robinet jusqu'au stade requis pour l'inoculation sur feuilles détachées. Les traitements préventifs à base des *Trichoderma* sur culture installée ont été apportés par incorporation au sol sur 44 pots, et cela quinze jours avant la mise en culture, et par pulvérisation sur la partie aérienne jusqu'au stade début floraison sur 44 pots également, quant aux 22 pots témoins, ils n'ont reçus aucun traitement.

2.2.2 Préparation des traitements à base de *Trichoderma sp.*

Les onze isolats de *Trichoderma sp.* ont été cultivés sur milieu PDA et incubés à 28 °C pendant 15 jours afin de favoriser leur sporulation (Tableau). Des suspensions conidiennes ont été préparées en raclant la surface des cultures immergées avec de l'eau distillée stérile. Des filtrats concentrés en spores ont été obtenus en passant les suspensions à travers quatre couches de gaze stériles. Les taux de sporulation ont été déterminés pour chaque filtrat d'isolat concentré, à l'aide de la cellule de malassez sous microscope optique. Ainsi, les concentrations ont été ajustées à 10^7 spores/ ml par de l'eau distillée stérile (Caron *et al.*, 2002).

PDF Create! 5 Trichoderma
www.nuance.com

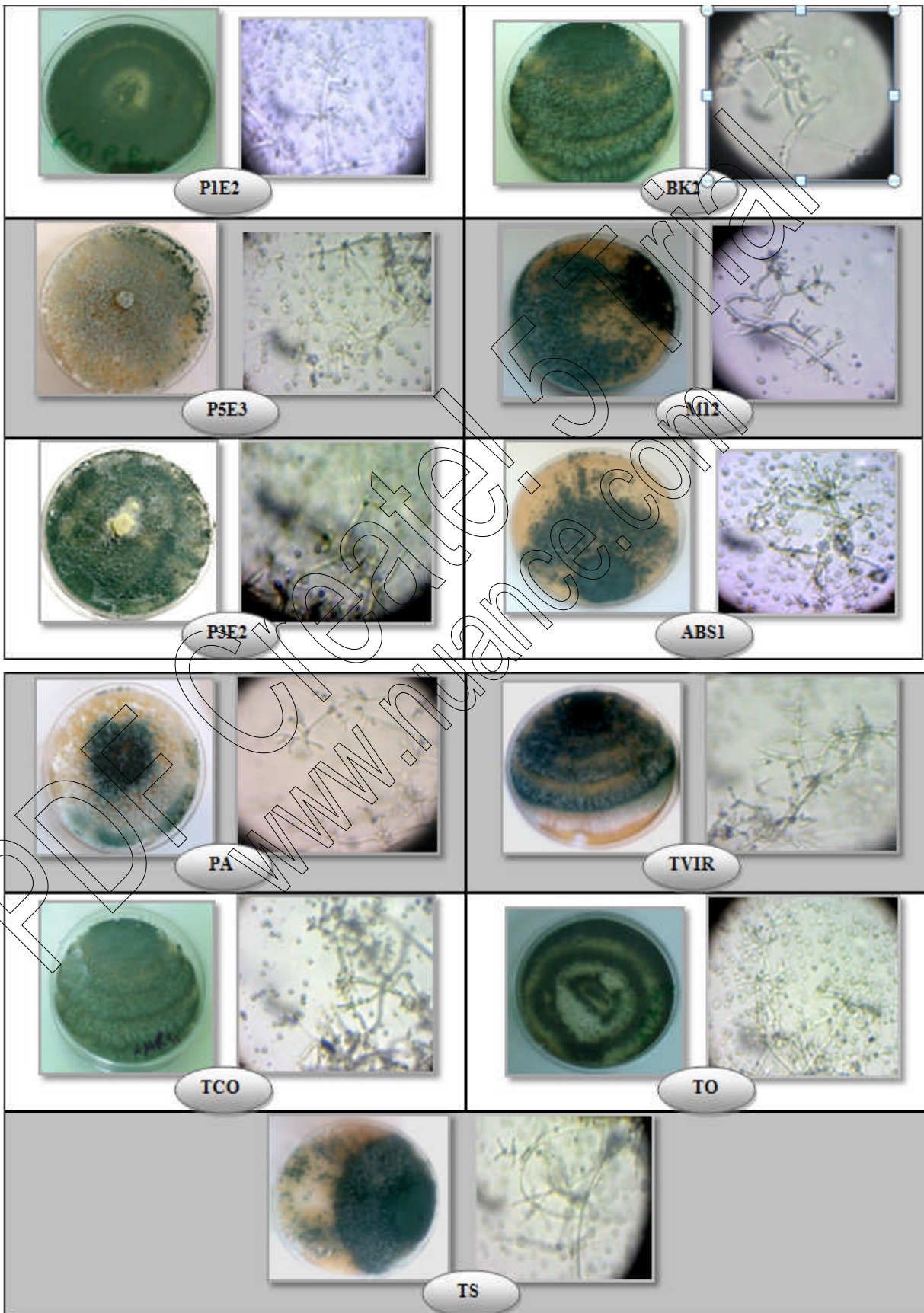


Figure 13. Aspect cultural et morphologie des isolats de *Trichoderma sp* testés (Gr : x 500).

2.2.3 Préparation des inocula

Les suspensions sporangiales des isolats fongiques A1 et A2 de *P.infestans* ont été préparées à partir de cultures pures âgées de 20 jours. Leur préparation consiste à déposer sur la surface de chaque culture, 5ml d'eau distillée stérile, puis la raclée aseptiquement à l'aide d'une spatule métallique préalablement flambée. Les suspensions sporangiales sont versées dans des tubes à essai stérilisés et sont soumises à l'agitation au vortex. Après dénombrement à l'aide d'une cellule de Malassez, ces dernières sont ajustées avec l'eau distillée stérile de façon à obtenir une concentration finale de 10^5 sporanges/ml (Bahous *et al.*, 2008 ; Berber *et al.*, 2009).



Figure 14. Cultures pures A1 et A2 de *P.infestans* étudiées

2.2.4 Etude du pouvoir antifongique des traitements à base de *Trichoderma*

L'évaluation du pouvoir antifongique est basée sur l'inoculation *in vitro* des feuilles détachées des deux variétés (Spunta et Kondor) de pomme de terre témoins et traitées par les isolats A1 et A2 de *P.infestans*.

En effet, cette étude se déroule comprend plusieurs étapes :

2.2.4.1 Récolte des feuilles détachées de pomme de terre

Des feuilles saines non traitées et d'autres traitées auparavant par des suspensions à base d'isolats de *Trichoderma* ont été prélevées à partir de plants des deux variétés de pomme de terre testées. Les feuilles sélectionnées étaient les plus développées et approximativement du même âge (Figure.).



Fig15. Récolte des feuilles à partir des plants de pomme de terre cultivés en pots.



Figure16. Feuilles de pomme de terre détachées non traitées (à gauche) et traitées (à droite)

2.2.4.2 Préparation du tissu foliaire

Les folioles approximativement de même taille ont été récoltées soigneusement, lavées deux fois à l'eau distillée stérile puis découpées en petits disques uniformes à l'aide d'un emporte-pièce et déposées sur un papier filtre absorbant. Après séchage, les disques foliaires ont été placés dans des boîtes stériles avec la face inférieure en haut en nombre de 5 par boîte, sur un grillage en plastique en présence du papier absorbant imbibé d'eau distillée stérile au fond des boîtes (Klarfeld et *al.*, 2009).

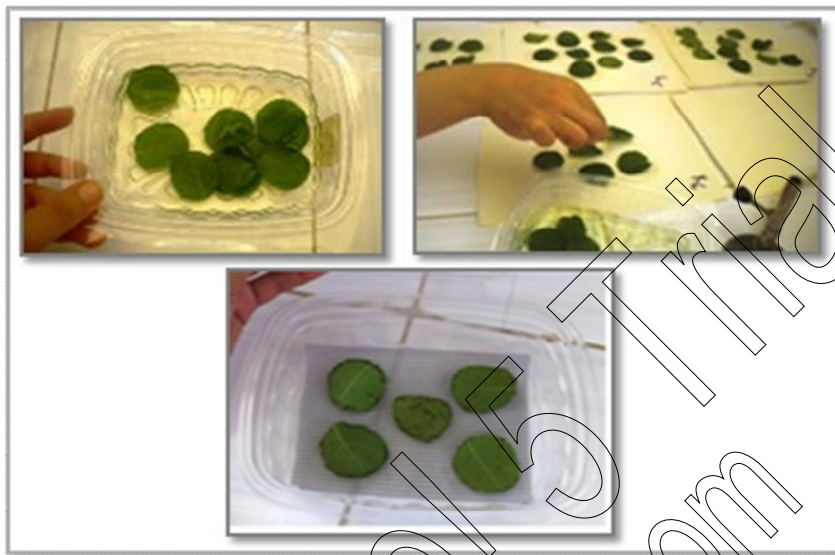


Fig16. Préparation du matériel végétal pour l'inoculation

2.2.4.3 Traitements et inoculations

Quatre types de traitements ont été effectués :

2.2.4.3.1 Traitement préventif par incorporation dans le sol des suspensions fongiques d'une concentration de l'ordre de 10^6 spores/ml où chaque pot a reçu 250 ml de chaque suspension à base de *Trichoderma* sp. L'ensemble des pots traités sont laissés au repos pendant deux semaines (Caron et al.,2002).

2.2.4.3.2 Traitement préventif par pulvérisation des suspensions conidiennes des différents isolats antagonistes sur la partie aérienne des plants cultivés en pots. La pulvérisation est apportée d'une façon à couvrir toutes les parties vertes en raison d'une fois par semaine. Ce mode de traitement dure jusqu'au stade avant floraison.

Les folioles détachées récupérées des plants ayant subis ces deux modes de traitements sont inoculées directement sur la face inférieure avec 100 μ l de suspension sporangiale d'une concentration de l'ordre de 10^5 sporanges/ml (Moumène : communication personnelle).

2.2.4.3.3 Traitement préventif par trempage des disques de feuilles détachées témoins dans les suspensions conidiennes des onze souches antagonistes séparément pendant 5 minutes. Après une période d'incubation de 24h, 100µl de suspension sporangiale de l'ordre de 10⁵ Sporangies/ml sont déposés à l'aide d'une micropipette sur la face inférieure de chaque disque foliaire à raison de 5 répétitions par isolat fongique (Berber *et al.*,2009).

2.2.4.3.4 Traitement curatif par inoculation des folioles témoins détachées par dépôt de 100µl de suspension sporangiale sur leur face inférieure. Après 24h d'inoculation, 80µl des suspensions conidiennes antagonistes sont déposées sur les feuilles préalablement inoculées au même point de l'inoculation (Berber *et al.*,2009).

Par ailleurs, des boîtes dont les folioles ont été inoculées avec de l'eau distillée stérile, et d'autres inoculés avec les isolats A1 et A2 ont été considérées respectivement comme des témoins négatifs et des témoins positifs (Hammi, 2003 ; Fontem *et al.*, 2005 ; Khair & Wafaa ; 2007).

Ainsi, cinq folioles par variété, par isolat de *P.infestans* et par isolat de *Trichoderma* ont été considérées pour chaque mode d'application de traitement. Ces dernières ont été placées dans des boîtes en plastique, hermétiques et stériles, contenant un milieu tampon séparé par un grillage en plastique qui empêche le contact direct des folioles avec ce milieu tampon. Les boîtes ainsi préparées ont été mises en incubation en chambre humide réglée à 18°C pendant 10 jours.

2.2.4.4 Evaluation du pouvoir antagoniste *in vivo* des isolats de *Trichoderma* sp . sur la phytopathogénicité de *P.infestans*

L'évaluation du pouvoir antagoniste des isolats de *Trichoderma* sp. vis-à-vis de *P.infestans* repose sur la détermination des paramètres suivants:

2.2.4.4.1 Période d'apparition des symptômes : correspondant au temps nécessaire pour l'apparition de l'infection induite par le phytopathogène sur le tissu foliaire inoculé (Hammi, 2003).

2.2.4.4.2 Réduction de la maladie : ou pourcentage de réduction de la maladie (% RM), exprimé par le produit de l'incidence de la maladie par l'échelle attribuée à la surface foliaire infectée. Selon la formule proposée par (Berber *et al.*,2009) :

$$\text{RM (\%)} = \frac{\text{CIP} - \text{CIPA}}{\text{CIP}} \times 100$$

- CIP: coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène (surface foliaire infectée témoin).
- CIPA: Coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène et traitées par l'antagoniste (surface foliaire infectée traitée).

2.2.4.4.3 Inhibition de la sporulation : Après 10 jours d'incubation, chaque foliole infectée est soigneusement trempée dans un tube à essai stérile contenant 10 ml d'eau distillée stérile puis, soumis à l'agitation l'aide d'un agitateur de tubes vortex pendant 2 mn pour détacher les sporanges formés. Le contenu de chaque tube a fait l'objet de détermination de la concentration en spores à l'aide d'une cellule de Malassez sous microscope optique. Deux comptages ont été effectués par échantillon au grossissement (x125). Ainsi, le pourcentage d'inhibition de la production de sporanges (%IPC) est déterminé selon la formule proposée par (Berber *et al.*, 2009)

$$\text{IPC (\%)} = \frac{(\text{NCP} - \text{NCPA})}{\text{NCP}} \times 100$$

- NCP: nombre moyen de sporanges par surface de feuilles inoculées par le pathogène,
- NCPA: nombre de sporanges par surface de feuilles inoculée par le pathogène et traitée par l'antagoniste.

2.3 Analyse statistique

Afin de vérifier une éventuelle efficacité des traitements à base de *Trichoderma* vis-à-vis des isolats de *P.infestans* testés et comparer les différents modes d'application de traitements utilisés tout en considérant les variétés testées, les isolats fongiques étudiés, des analyses statistiques ont été effectuées au moyen du logiciel SYSTAT vers.12, en déterminant la variance à l'aide du GLM (General Linear Model), les différences ont été considérées comme significatives pour un $P \leq 0,05$.

Les corrélations existantes entre les différents traitements, leurs modes d'application, les variétés ainsi que les isolats fongiques testés ont mises en évidence par une analyse en composantes principales (ACP). L'interprétation de l'ACP a été faite à partir de l'examen du cercle de corrélation et de la position du statut des variables sur les axes factoriels (Philippeau, 1989).

PDF Create! 5 Trial
www.nuance.com

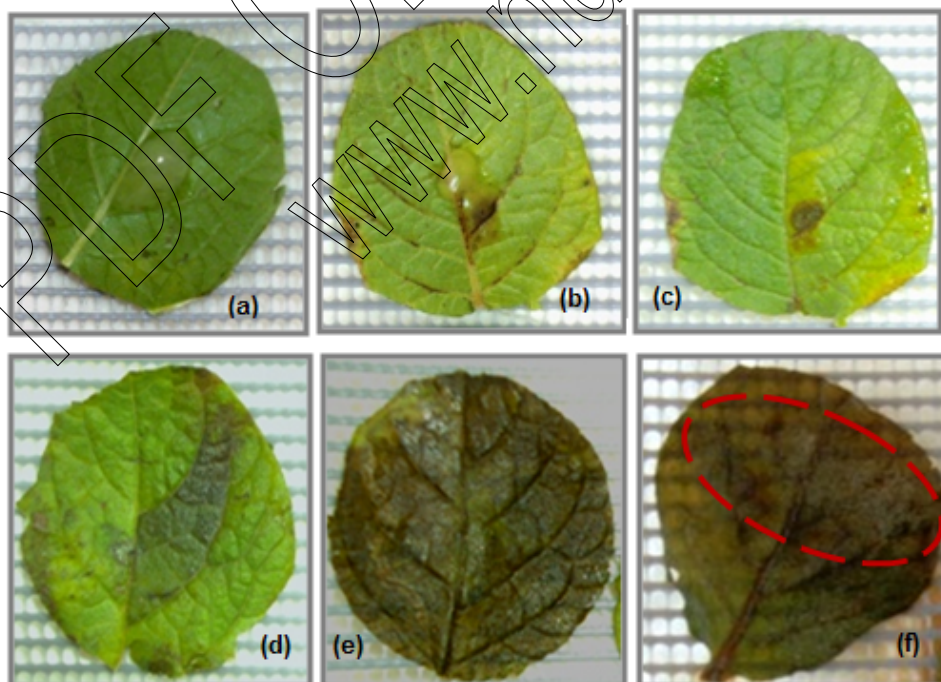
Résultats

&

Discussion

3.1 Description des symptômes foliaires

Sur les disques des feuilles inoculées, le premier signe macroscopique de l'infection est l'apparition de taches humides juste au point de l'inoculation. Ces taches devenant brunes et s'entourent d'une bande de couleur vert pâle ou jaune clair sur la face supérieure. Les nécroses se développent et s'élargissent différemment (Fig. 18). Après plus d'une semaine d'incubation, et avec les conditions optimales de température et d'humidité, quelques feuilles nécrosées se recouvrent non pas sur leurs faces inférieures qui sont au contact avec le grillage de séparation, mais souvent sur leurs faces supérieures libres, elles se recouvrent par une fructification blanchâtre abondante du pathogène.



(a) : Début d'apparition de la tache huileuse sur la face inférieure
(b) : Début de nécrose au point d'inoculation

(c) : Apparition de la zone jaunâtre autour de la nécrose

(d), (e) : Développement de la nécrose

(f) : Apparition du devant blanchâtre sur la nécrose

Figure 18. Développement des symptômes du mildiou sur les disques des feuilles inoculées

Quand aux disques des feuilles du témoin négatif inoculées avec le l'eau distillées stériles, les feuilles sont restées intactes et se sont dessécher seulement (Figure 19).

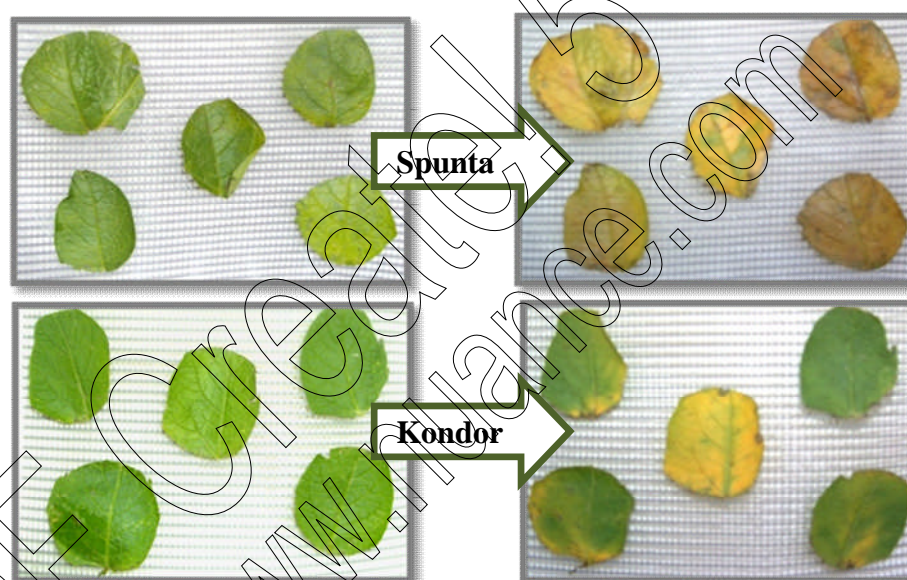


Figure19. Absence de symptômes sur les folioles détachées des deux variétés testées du témoin négatif après 2 jours (à gauche) et après neuf jours (à droite)

3.2 Evaluation du pouvoir antagoniste des isolats de *Trichoderma*

3. 2.1 Période d'apparition des symptômes

La période d'apparition des symptômes a été déterminée pour tous les modes d'application des traitements en considérant les isolats antagonistes, les variétés testées et les deux souches de *Phytophthora infestans*, en comparaison avec les témoins.

L'analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes a montré une différence hautement significative entre les modes d'application des traitements ($P=0.000$) (Tableau 6) et une différence significative entre les variétés de pomme de terre testées seulement pour le mode par incorporation au sol ($P=0.030$) (Tableau 7).

Tableau.6 Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en fonction des modes d'application des traitements

Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F -ratio	P
Mode d'application	23.276	3	7.759	9.973	0.000

Tableau.7 Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements, les variétés testées, les souches de *P. infestans* et les isolats antagonistes de *Trichoderma sp.*

Facteurs	Mode d'appli	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F -ratio	P	
Période d'apparition des symptômes	Variétés	Témoin positif	0.023	1	0.023	0.141	0.772
		Trempage	0.240	1	0.240	0.457	0.504
		Pulvérisation	2.066	1	2.066	2.020	0.165
		Curatif	0.098	1	0.098	0.159	0.693
		Incorporation au sol	3.693	1	3.693	5.185	0.030
	<i>Phytophthora infestans</i>	Témoin positif	0.023	1	0.023	0.766	0.542
		Trempage	0.841	1	0.841	1.603	0.215
		Pulvérisation	1.924	1	1.924	1.881	0.180
		Curatif	0.212	1	0.212	0.345	0.561
		Incorporation au sol	0.241	1	0.241	0.338	0.565
	<i>Trichoderma</i>	Trempage	5.525	10	0.553	1.053	0.426
		Pulvérisation	7.284	10	0.728	0.712	0.706
		Curatif	6.060	10	0.606	0.987	0.474
		Incorporatio sol	14.201	10	1.420	1.994	0.069

En modèle GLM, la période d'apparition de symptômes selon les modes d'application des traitements est comprise entre 2.5 et 4 jours. Les trois modes d'application préventifs ont montrés des symptômes plus rapidement que le mode curatif. Ainsi, le classement de modes d'application des antagonistes a été établi dans l'ordre décroissant suivant : préventif par

incorporation au sol (PO): 3.7 jours, préventif par pulvérisation (AS): 3.1 jour, préventif par trempage (TR): 2.9 jours et Curatif (CU): 2.7 jours (Figure 20).

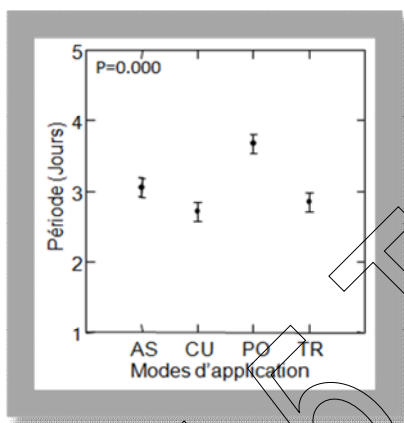
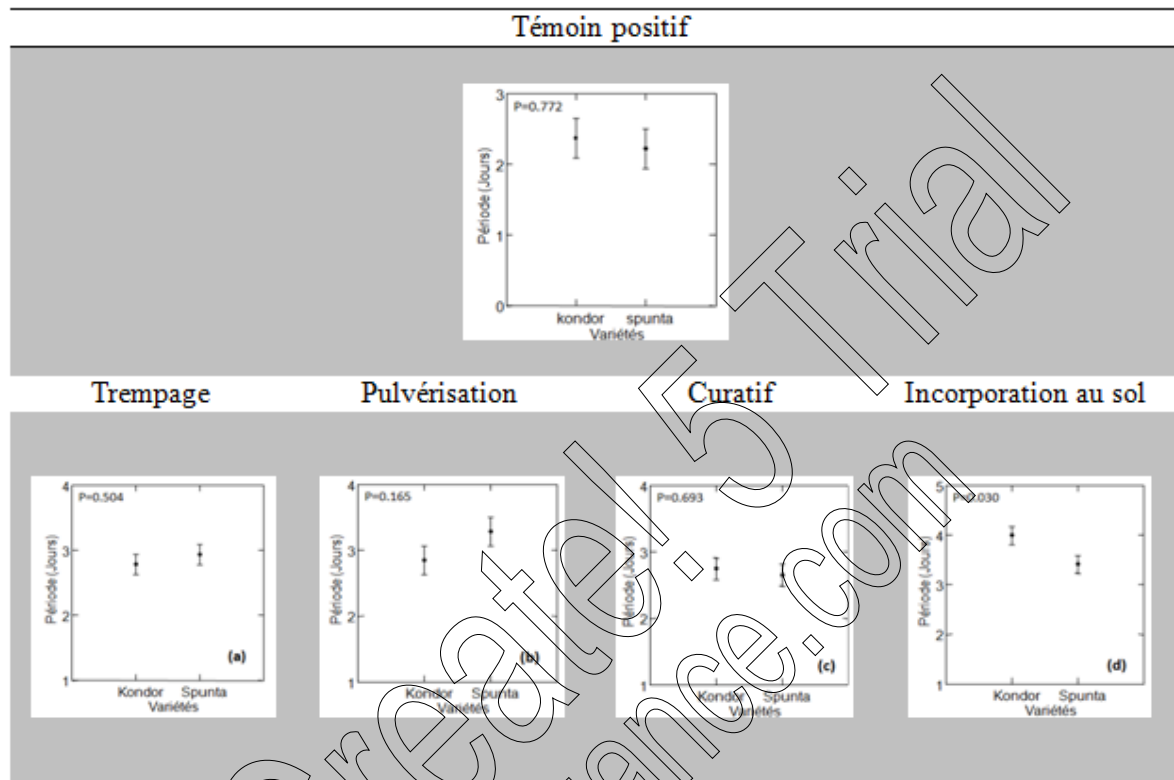


Figure.20 Analyse de la variance modèle GLM des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements

De même, la période d'apparition des symptômes a été plus courte pour le témoin positif par rapport aux quatre modes d'application des antagonistes, comme elle n'a pas montré une grande différence entre les deux variétés testées, elle était de 2.4 jours avec la variété Kondor, et de 2.3 jours avec la variété Spunta, autant pour le mode curatif (Figure 21/ c). En revanche, elle a été plus courte pour la variété Kondor que Spunta pour les deux autres modes d'application préventifs par trempage et par pulvérisation (Figure 21/ a, b). Le classement des périodes d'apparition des symptômes enregistrées selon les variétés testées obéit à l'ordre décroissant suivant :

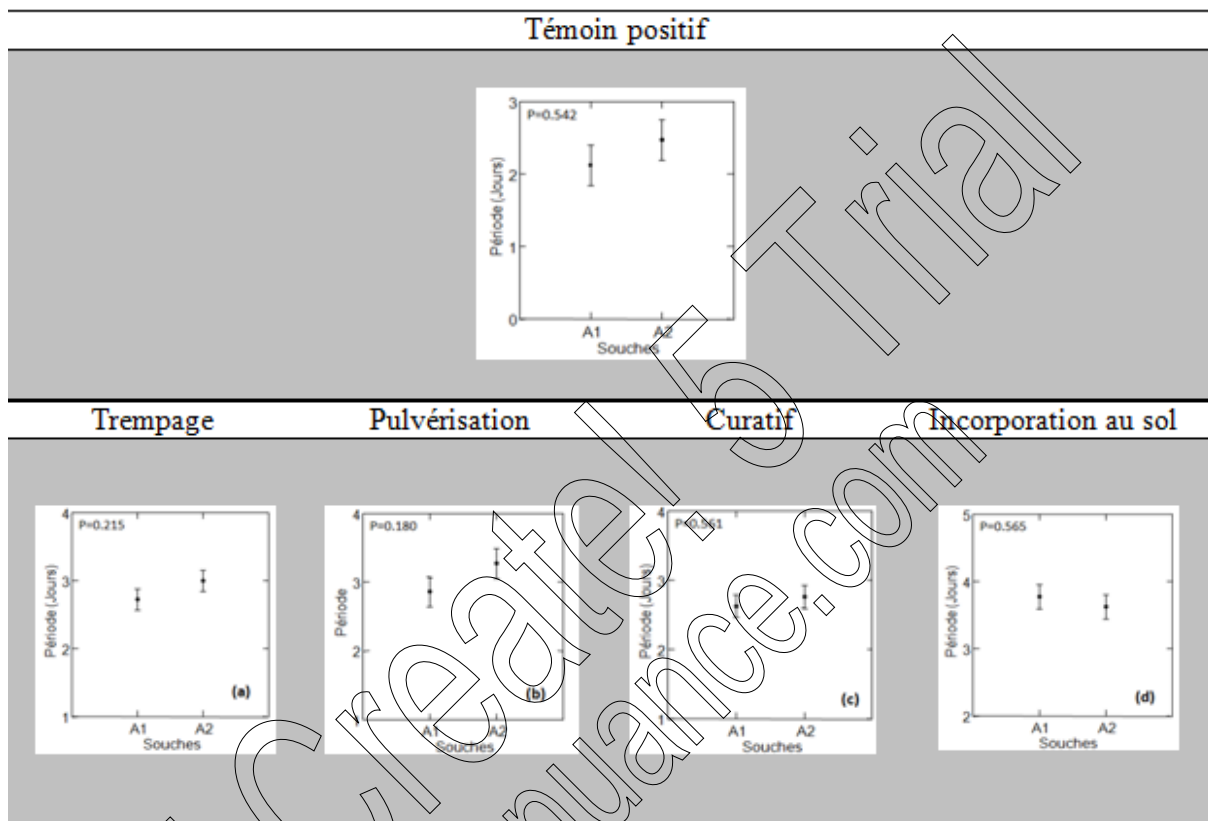
- Incorporation au sol : Kondor (4 jours), curatif : Kondor (3.8 jours), Curatif : Spunta (3.7 jours), incorporation au sol : Spunta (3.5 jours), pulvérisation : Spunta (3.4 jours), Trempage : Spunta (3 jours), pulvérisation : Kondor & trempage : Kondor (2.8 jours) (Figure 21).



Figures21. Analyse de la variance des périodes d'apparition en modèle GLM des symptômes selon le témoin positif et selon les modes d'application des traitements en fonction des variétés testées.

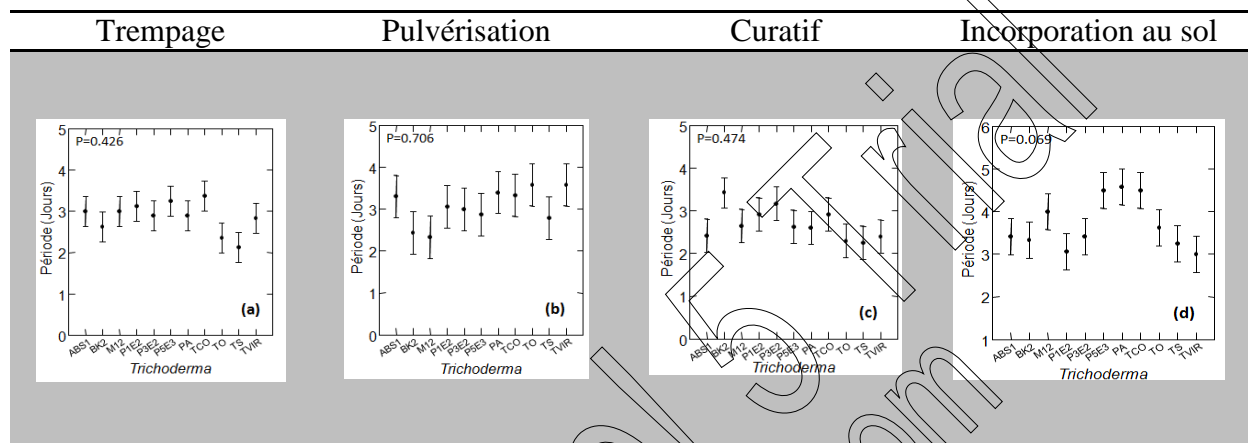
D'autre part, les deux souches de *Phytophthora infestans* ont montré une variabilité dans la période d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements. Ainsi, et concernant le témoin positif, A1 reproduit les symptômes plus rapidement (2.1 jours) que A2 (2.5 jours) et pour l'ensemble des modes d'application mis à part le mode préventif par incorporation au sol où A2 se manifeste plus rapidement que A1 (Figure 22). Les quarts modes d'application des antagonistes ont augmenté cette période d'expression des symptômes par à port au témoin positif. Le classement des modes de traitements a pu être établi selon la période d'apparitions des symptômes dans l'ordre décroissant suivant (Figure 22) :

- Incorporation au sol : A1 (3.8 jours), incorporation au sol : A2 (3.6jour), Pulvérisation : A2 (3.3 jours), trempage : A2 (3 jours), pulvérisation : A1 (2.9 jour), Trempage : A1 & Curatif : A2 (2.7 jours), A1 (2.6 jours).



Figures22. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon le témoin positif et selon les modes d'application des antagonistes en fonction des souches de *Phytophthora infestans*.

L'ensemble des isolats de *Trichoderma* ont montré une variabilité dans l'expression des symptômes. La période de leur apparition était plus longue pour le mode d'application préventif par incorporation au sol avec les traitements TCO, PA, P5E3 (Pas de symptômes durant les quatre jours) (Figure .23/d). Cependant, elle été de 4 jours pour le traitement M12 concernant le même mode et pour le traitement BK2 concernant le mode curatif (Figure .23/c). Pour le reste des traitements cette période été comprise entre 2 à 4 jours pour les quatre modes d'application (Figure .23).



Figures23. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon les modes d'application des traitements en fonction des isolats antagonistes de *Trichoderma sp.*

Une analyse en composante principale de la période d'apparition des symptômes a été effectuée sur les onze souches antagonistes du genre *Trichoderma*, les deux variétés de pomme de terre, les deux isolats de *Phytophthora infestans* et les quatre modes d'application des traitements. L'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes. L'axe1 représenté par la catégorie de données présentant de fortes contributions de 33.32% (Figure 24). En effet, les calculs de la distance euclidienne ont montré la présence de 4 groupes.

Chaque groupe renferme les périodes d'apparition des symptômes et les paramètres étudiés. Les traitements à base des isolats de *Trichoderma* M12, P5E3, ABS, TS et PA sont corélés positivement avec les paramètres groupe 3, le traitement P1E2 est fortement corélés avec les paramètres du groupe 2, le traitement BK2 est corélé positivement avec les paramètres du groupe 1 et le paramètre du groupe 4 est corélé positivement avec les isolats TVIR, P3E2, TO et TCO (Figure.24).

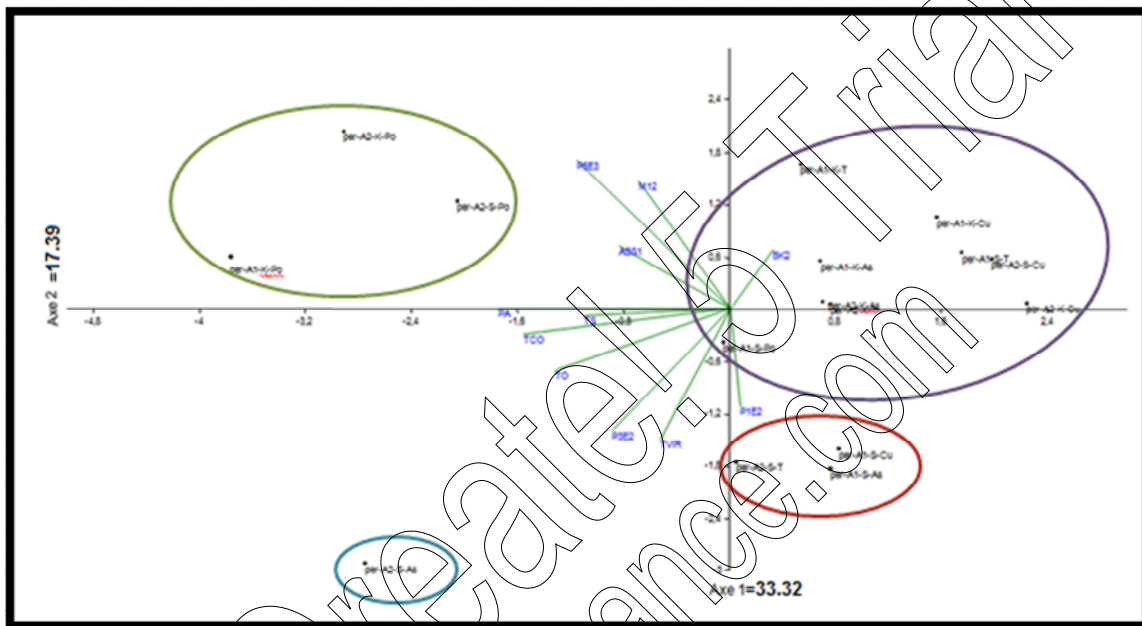


Figure 24. Analyse en composante principale (ACP) de la période d'apparition des symptômes, des différents paramètres et des onze traitements.

3.2.2 Réduction de la maladie

L'analyse de variance du pourcentage de réduction de la maladie a montré une différence hautement significative entre les modes d'application des traitements (Tableau 8), entre les variétés selon les modes préventifs par trempage ($P=0.001$), par pulvérisation ($P=0.016$), selon le mode curatif ($P=0.004$) et entre les isolats antagonistes de *Trichoderma sp.* selon les modes préventif par trempage ($P=0.007$) et le mode curatif ($P=0.035$) (Tableau 9).

Tableau. 8 Analyse de la variance des pourcentages de réduction de la maladie en fonction des modes d'application des traitements.

Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F -ratio	P
Mode d'action	53786.615	3	17928.872	11.019	0.000

Tableau.9 Analyse de la variance des pourcentages de réduction de la maladie selon les modes d'application des traitements, les variétés testées, les souches de *P. infestans* et les isolats antagonistes de *Trichoderma sp.*

	Facteurs	Mode d'appliq	Somme des carrés	d.d.l	Carrés moyens	F-ratio	P
Réduction de la maladie	Variétés	Trempage	10864.094	1	10864.094	12.208	0.001
		Pulvérisation	10244.038	1	10244.038	6.520	0.016
		Curatif	16573.423	1	16573.423	8.538	0.004
		Incorporation au sol	676.974	1	676.974	1.362	0.252
	<i>Phytophthora infestans</i>	Trempage	428.626	1	428.626	0.482	0.493
		Pulvérisation	145.782	1	145.782	0.093	0.763
		Curatif	310.635	1	310.635	0.160	0.692
		Incorporation au sol	381.711	1	381.711	0.768	0.388
	<i>Trichoderma</i>	Trempage	2765.306	10	2765.306	3.107	0.007
		Pulvérisation	6179.469	10	617.947	0.393	0.940
		Curatif	45142.568	10	4514.257	2.326	0.035
		Incorporation au sol	8398.314	10	839.831	1.689	0.130

En modèle GLM, une grande variabilité de la réduction de la maladie a été révélée entre les quatre modes d'application des traitements, la réduction était plus importante pour le mode préventif par incorporation au sol (PO) avec 85% et par degré moindre pour le mode préventif par trempage (TR) avec 65% et pour le mode curatif (CU) avec 56%. Le mode préventif par pulvérisation (AS) a enregistré le pourcentage de réduction de maladie le plus faible avec seulement 34% (Figure25).

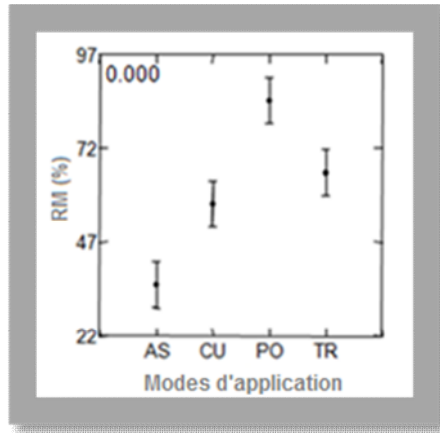
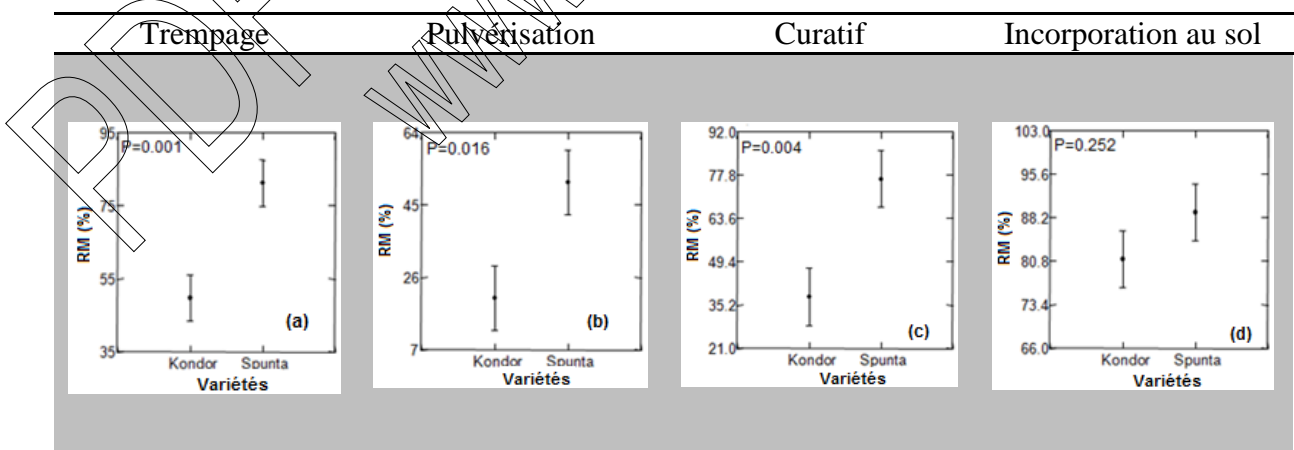


Figure.25 Analyse de la variance des pourcentages de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements.

Par ailleurs, les pourcentages de réduction enregistrés ont montré une variabilité entre les modes d'application selon les variétés testées. Ils sont remarquablement plus importants sur la variété Spunta que sur Kondor .

Les modes d'application des antagonistes ont été classés selon les taux de réduction de la maladie sur les deux variétés testées dans l'ordre décroissant suivant (Figure 26) :

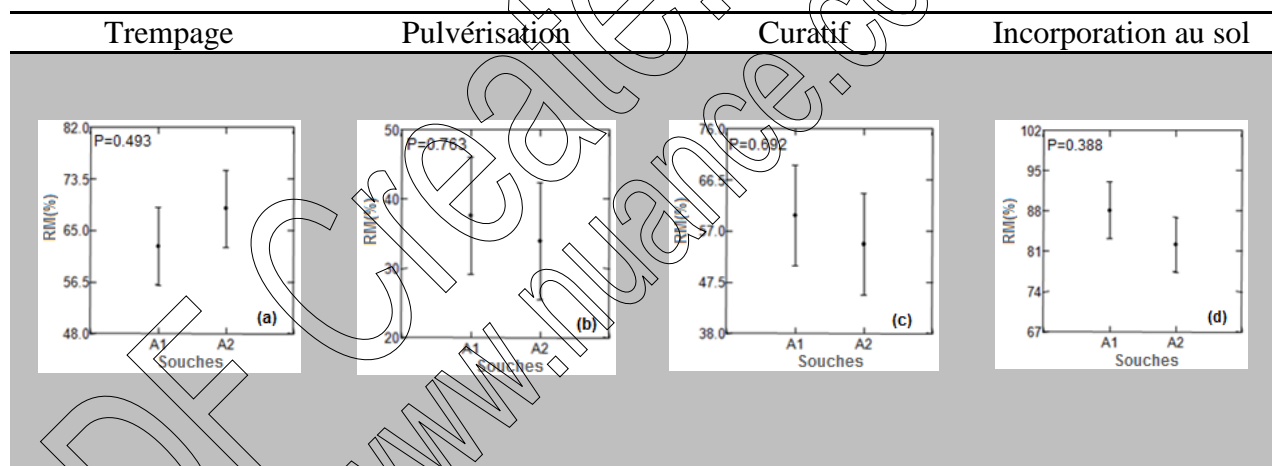
- Incorporation au sol : Spunta (88.2%) et Kondor (80.8%), trempage : Spunta (80%), curatif : Spunta (77.8%), trempage : Kondor (50%), curatif : Kondor (38%), pulvérisation : Spunta (54%) et pulvérisation/Kondor (17%).



Figures.26 Analyse de la variance des pourcentages de réduction en modèle GLM de maladie selon les modes d'application des traitements et les variétés testées.

D'autre part, des pourcentages plus importants ont été enregistrés en fonction de l'ensemble des modes d'application avec l'isolat A1 de *Phytophthora infestans* (Figure 27). En revanche, le mode préventif par trempage a montré l'inverse (Figure 27/a). Le classement des antagonistes selon les souches de *P. infestans* suit le l'ordre décroissant suivant :

- Incorporation au le sol : A1 (88%), A2 (81%), trempage : A2 (69%), curatif : A1 (60%), trempage : A1 (60%), curatif : A2 (52%), pulvérisation/A1 (37%) et A2 (34%) (Figure 27).






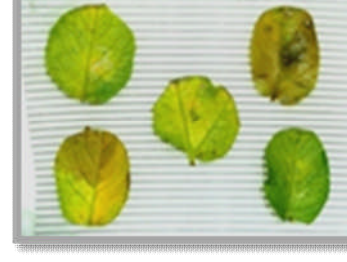



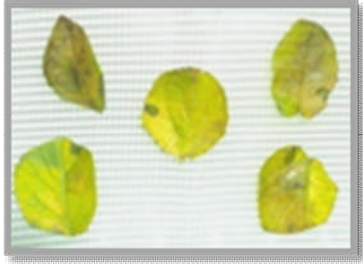




Figures27. Analyse de la variance des pourcentages de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements en fonction des souches de *Phytophthora infestans*.

Parallèlement, des pourcentages variables ont été distingués en fonction des antagonistes étudiés et leurs modes d'application (Figure 28). Ainsi, leur classement a été établi dans l'ordre décroissant suivant:

Pour le mode curatif :

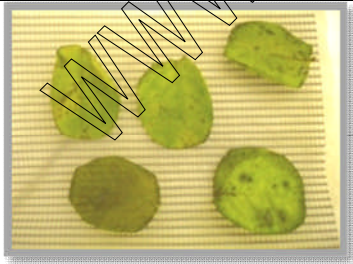

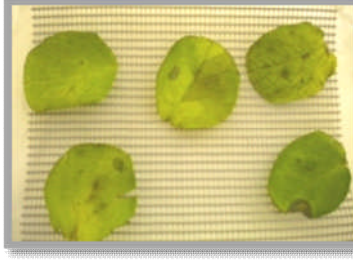

- BK2 (plus de 95%), P5E3. P3E2. TCO. ABS1. P1E2 (plus de 70), M12. TVIR (plus de 50%), PA. TS. TO (moins de 25%) (Figure 28).

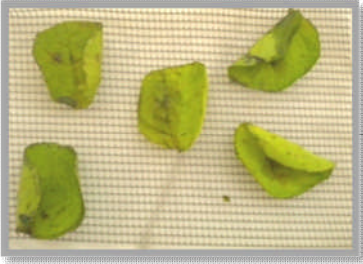


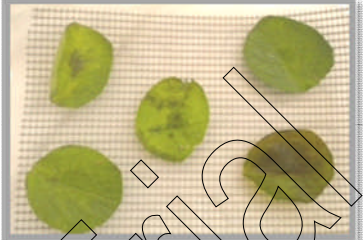




	<i>P.I</i>	Spunta	Kondor
BK2	A1		
	A2		
P3E2	A1		

	A2		
TO	A1		
	A2		

Figures.28 Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre *Trichoderma sp.* selon le mode curatif.



Pour le mode préventif par trempage : P5E3. ABS1 (plus de 90%), M12. P1E2. TCO. TVIR (plus de 71), BK2. P3E2. PA (plus de 50%) et TS. TO (moins de 31%) (Figure 29).

	P1	Spunta	Kondor
ABS1	A1		
	A2		

P5E3	A1		
	A2		
TO	A1		
	A2		

Figures29. Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre *Trichoderma sp.* selon le mode préventif par trempage.

Pour le mode préventif par incorporation au sol: M12. ABS1. TCO. PA. P5E3. TO (plus de 90%) et BK2. P3E2. TS (plus de 77) (Figure 30).

	<i>P.I</i>	<i>Spunta</i>	<i>Kondor</i>
M12	A1		



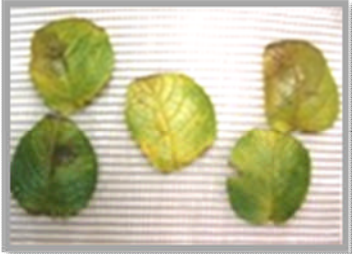
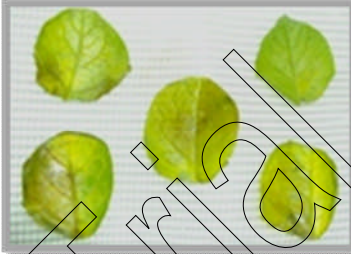




	A2		
TCO	A1		
	A2		

Figure 30. Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre *Trichoderma* sp. selon le mode préventif par incorporation au sol.

Pour le mode préventif par pulvérisation: TO. TS (plus de 45%), PA. TCO. TVIR. ABS1. BK2. P1E2. P3E2 (plus de 32%) et P5E3. M12 (moins de 30%) (Figure 31).

	<i>P.I</i>	<i>Spunta</i>	<i>Kondor</i>
TO	A1		

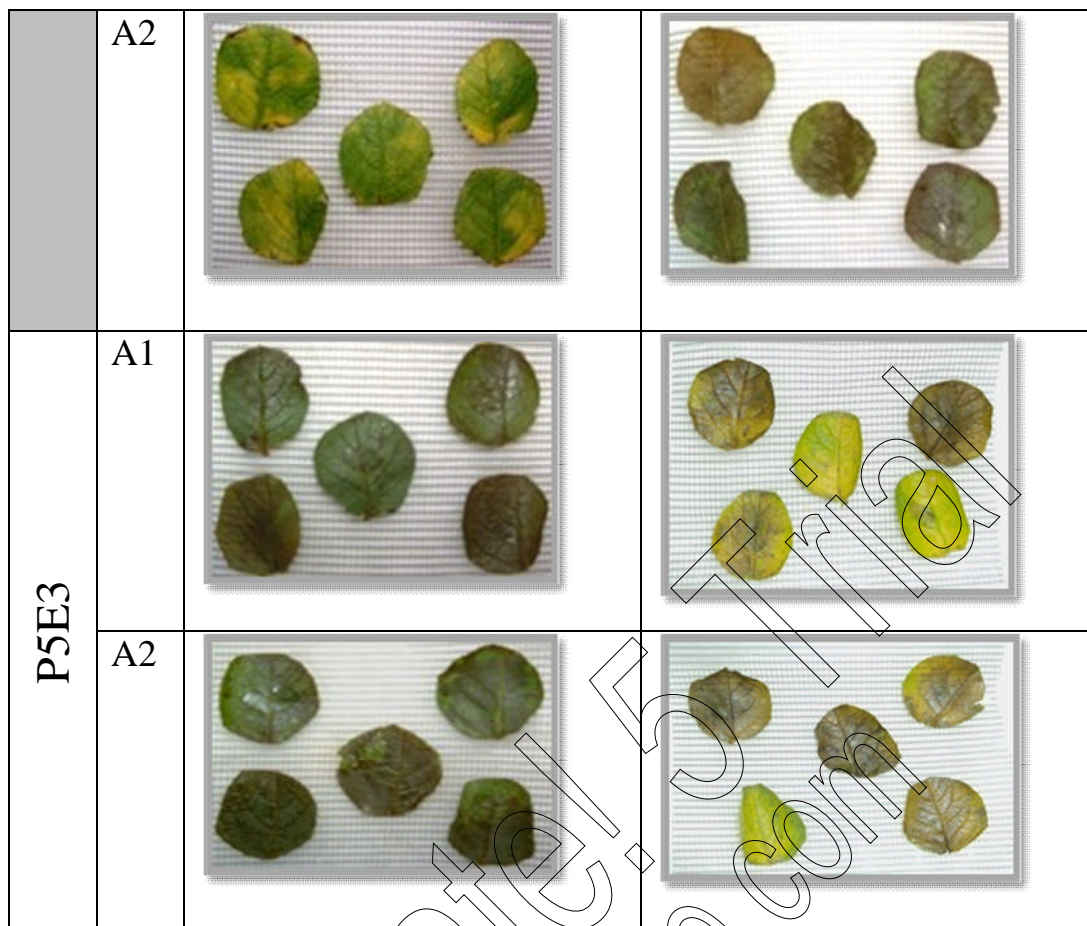


Figure 31. Réduction de la maladie après traitement par les antagonistes du genre *Trichoderma* sp. selon le mode préventif par pulvérisation.

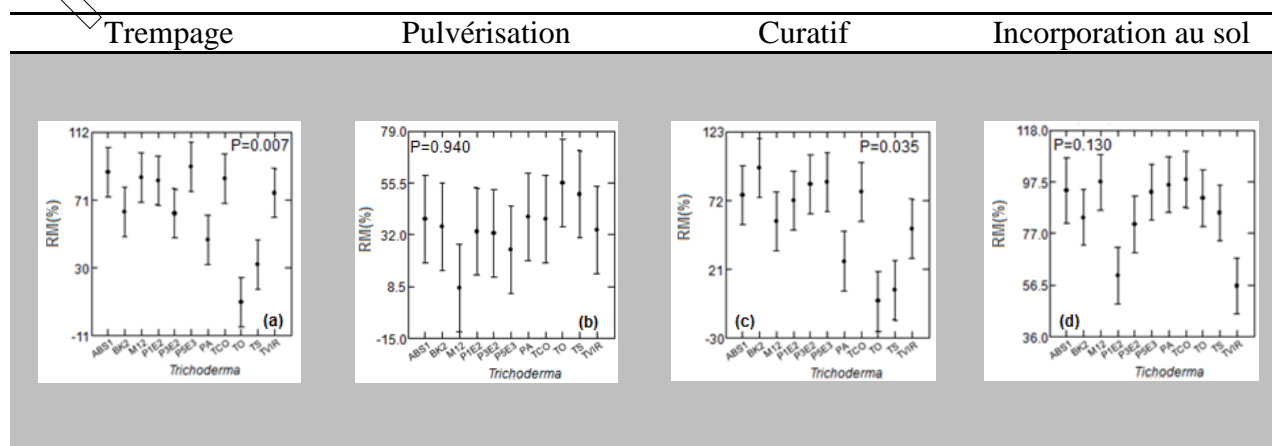


Figure 32. Analyse de la variance des pourcentages de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les isolats antagonistes du genre *Trichoderma sp.*

L'analyse en composante principale (ACP) a été effectuée sur la réduction de la maladie, les onze isolats antagonistes du genre *Trichoderma*, les deux variétés, les des deux isolats de *Phytophthora infestans* et les quatre modes d'application des antagonistes. L'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes. Ax1 représenté par la catégorie de données présentant une contributions de 33.74% et l'axe2 représenté par les données d'une contributions de (20.02 %) (Figure 33). Les calculs de la distance euclidienne ont montré la présence de 3 groupes.

Ainsi, en considérant l'axe 1, les traitements à base des onze isolats de *Trichoderma sp.* étudiés: Pa, Tco, Ts, To et Tvir ont été corrélés positivement avec les paramètres du groupe 4. En revanche, les isolats PA, P5E3, M12, TO, TS et ABS1 sont corrélés négativement avec les paramètres du groupe 2 (Fig 33) et les isolats P3E2, BK2, P1E2, TCO et TVIR sont corélés négativement avec les paramètres du du groupe 3 (Figure 33).

Tableau11. Analyse de la variance des pourcentages d'inhibition de production des conidies des différents modes d'application des traitements en fonction des trois paramètres étudiés.

	Facteurs	Mode d'applic	Somme des carrés	d.d.l	Carrés moyens	F-ratio	P
Inhibition de production des conidies	Variétés	Trempage	346.810	1	346.810	1.213	0.279
		Aspersion	86.184	1	86.184	0.160	0.692
		Curatif	1024.348	1	1024.348	2.598	0.117
		Incorporatio sol	227.727	1	227.727	0.608	0.442
	Phytophthora infestans	Trempage	133.040	1	133.040	0.465	0.500
		Aspersion	94.903	1	94.903	0.176	0.678
		Curatif	1881.427	1	1881.427	4.772	0.037
		Incorporatio sol	1341.581	1	1341.581	3.581	0.068
	Trichoderma	Trempage	2778.466	10	277.847	0.972	0.486
		Aspersion	5255.729	10	525.573	0.973	0.486
		Curatif	6072.268	10	607.227	1.540	0.172
		Incorporatio sol	3973.328	10	397.333	1.061	0.420

En modèle GLM, les taux d'inhibition de la sporulation enregistrés ont permis le classement des modes d'application des antagonistes dans l'ordre décroissant suivant : Curatif et incorporation au sol (93%), pulvérisation et trempage (90%) ((Figure 34).

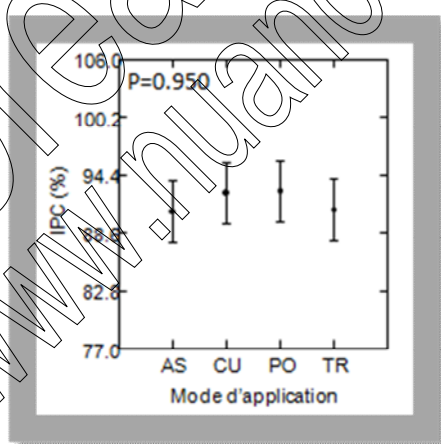
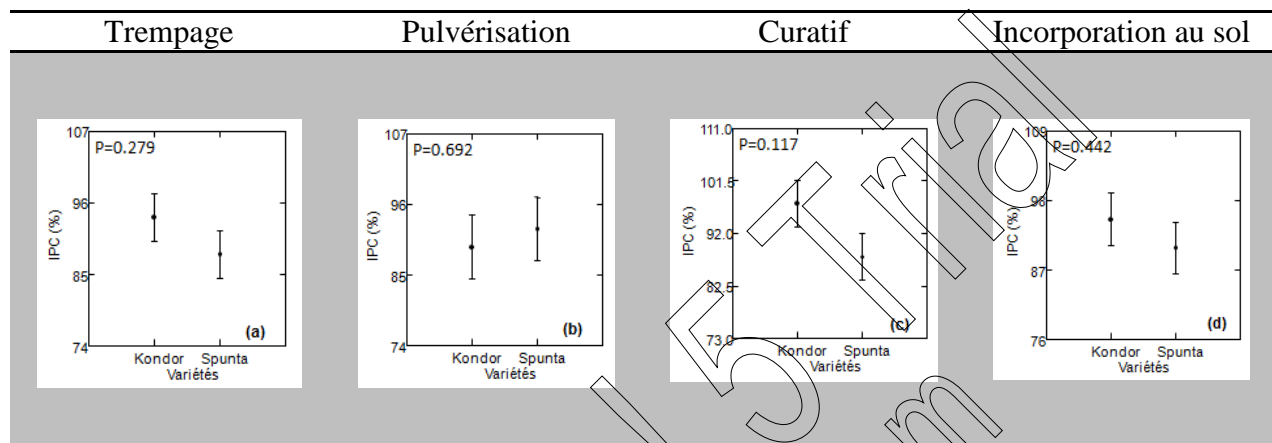


Figure34. Analyse de la variance modèle GLM des pourcentages d'inhibition de la sporulation en fonction des modes d'application des traitements

Les variétés ont montré une variabilité des taux d'inhibition de la production des sporanges selon les modes d'application des traitements. Les taux enregistrés dépassent les 85% sur les deux variétés pour les quatre modes d'application et atteint 100% avec le mode curatif (Figure 35/C). Ils étaient plus importants sur la variété Kondor que sur la variété Spunta sur l'ensemble des modes d'application mis à part le mode préventif par pulvérisation. D'où, le

classement des modes d'application des antagonistes en fonction des variétés testées est dans l'ordre décroissant suivant (Figure 35) :

- Curatif : Kondor (100%), trempage : Kondor (95%), incorporation au sol : Kondor & pulvérisation : Spunta (94%), incorporation au sol : Spunta & pulvérisation : Kondor (90%), trempage : Spunta (88.5%), Curatif : Spunta (87%).



Figures35. Analyse de la variance des pourcentages de l'inhibition de la sporulation en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les variétés testées.

Par ailleurs, les isolats de *Phytophthora infestans* ont montré une variabilité dans l'inhibition de la sporulation. Les taux les plus importants ont été enregistrés sur A1 pour les modes d'application préventifs par trempage et le mode curatif (Figure 36/a, c), alors qu'ils étaient plus importants sur A2 concernant les modes préventifs par pulvérisation et par incorporation au sol (Figure 36/b, d). Le classement des modes d'application des traitements a été établi en fonction des deux souches de *P. infestans* dans l'ordre décroissant suivant :

- Incorporation au sol : A2 (100%), curatif : A1 (99%),
Pulvérisation : A2 (93%), trempage : A1 (92.5%), trempage : A2 (90%) ;
Pulvérisation : A1 (89%), incorporation au sol : A1 & curatif : A2 (87%).

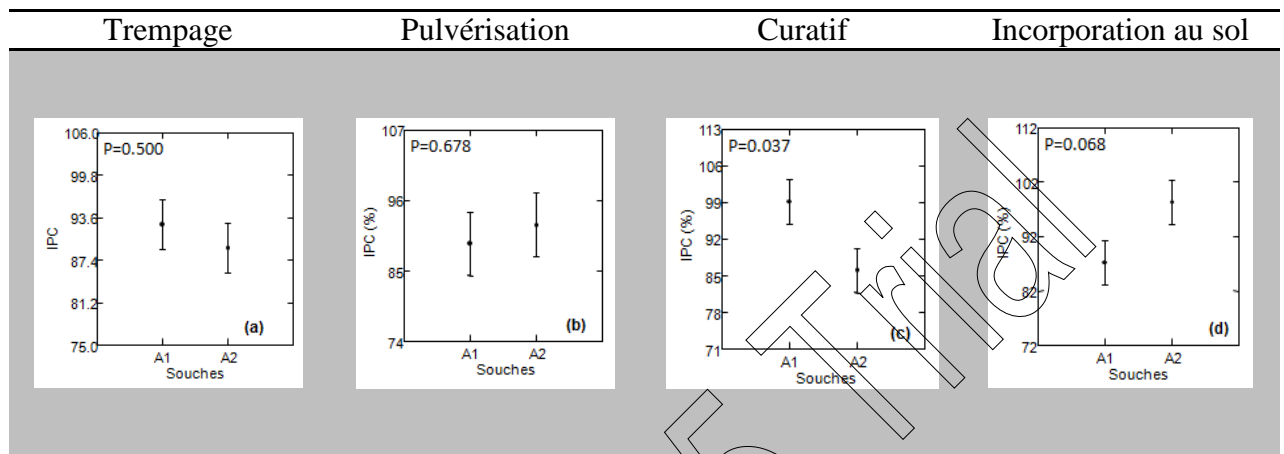


Figure 36. Analyse de la variance des pourcentages de l'inhibition de la sporulation (IPC) en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les souches de *Phytophthora infestans*.

D'autre part, les isolats antagonistes du genre *Trichoderma* ont montré une très importante inhibition de la production des sporangés selon les quatre modes d'action, elle a atteint les 100% pour :

- Les isolats TVIR, TO, TCO, PA, MI2 et BK2 selon le mode préventif par incorporation au sol, les isolats TVIR, TO, TCO, PA, P5E3, P3E2 et BK2 selon le mode curatif, les isolats TVIR, TS, P5E3, P3E2 et ABS1 selon le mode préventif par pulvérisation et les isolats TO et P1E2 selon le mode préventif par trempage (Figure 37).

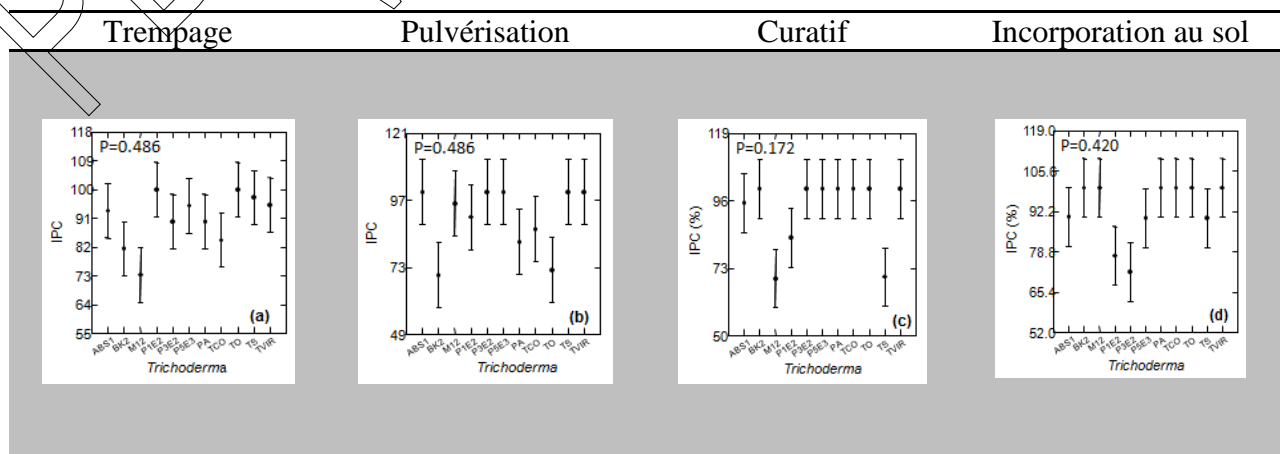


Figure 37. Analyse de la variance des pourcentages de l'inhibition de la sporulation (IPC) en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les isolats antagonistes de *Trichoderma sp.*

Une analyse en composante principale a été effectuée sur l'inhibition de la sporulation et les onze traitements en fonction des deux variétés, des deux isolats de *Phytophthora infestans* et les quatre modes d'application des traitements. L'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes. Axe1 représenté par la catégorie de données présentant une contribution de 26.14% et l'axe2 représenté par les données d'une contribution de (23 %) (Figure 38). En effet, les calculs de la distance euclidienne ont montré la présence de 3 groupes (Figure 38). Ainsi, en considérant l'axe 1, les traitements à base des onze isolats de *Trichoderma sp.* étudiés: PA,TCO,TO et ABS1 ont été corrélés positivement avec les paramètres du groupe 1 (Figure 38). En revanche, les traitements à base des isolats PA, P5E3, M12, TO, TS et ABS1 sont fortement corrélés avec les paramètres groupe 1, d'autre part, les traitements à base des isolats P3E2, TS, P5E3 et P1E2 sont fortement corrélés avec les paramètres du groupe 2 (Fig.), aussi, les traitements à base des isolats M12, TVIR et BK2 sont fortement corrélés avec les paramètres du groupe 3 (Figure 38).

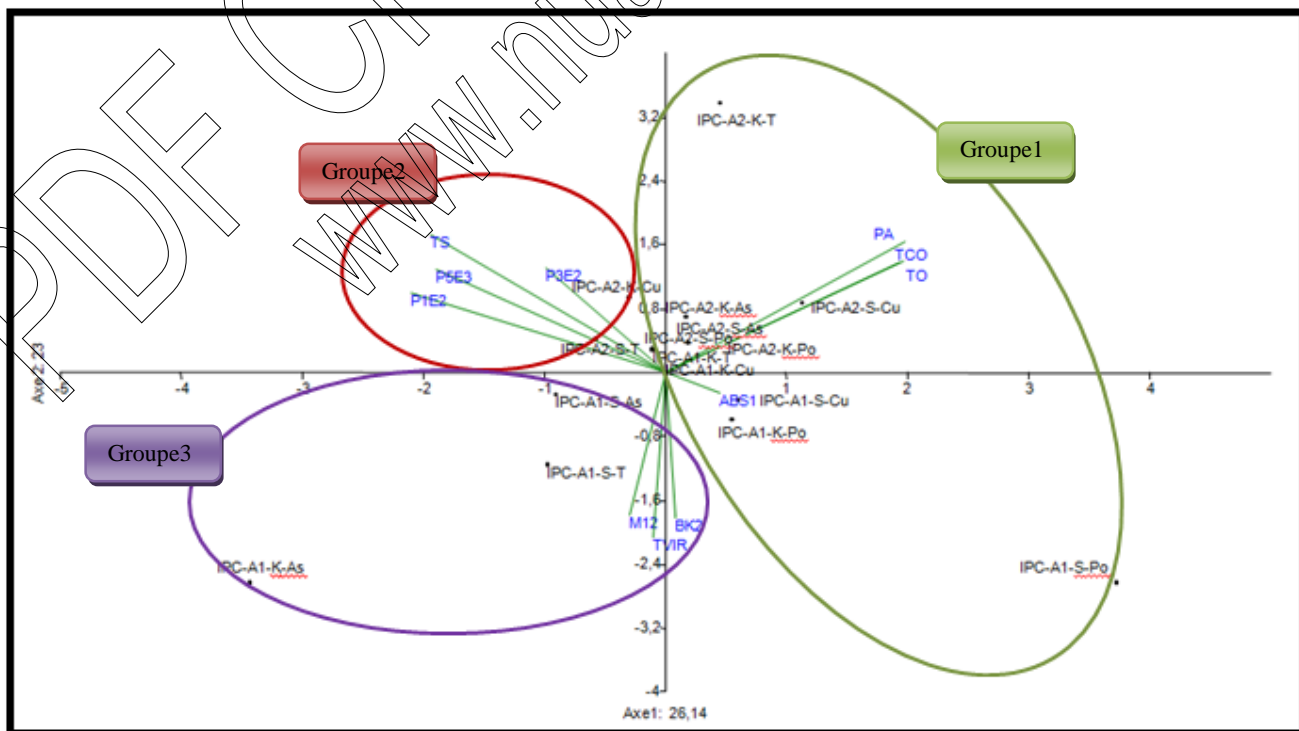


Figure38. Analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la production des sporanges, des différents paramètres et des onze traitements.

Discussion

L'activité antagoniste *in vivo* des traitements à base des onze souches de *Trichoderma* a été étudiée sur deux isolats algériens A1 et A2 de *P. infestans*, selon différents modes d'application de traitements. Les résultats ont montré que toutes les souches du *Trichoderma* sont parvenues à réduire la maladie et la sporulation de *P. infestans*.

Il existe de nombreux rapports de stratégies alternatives pour la gestion des maladies des végétaux, cependant, ceux qui traitent le contrôle du mildiou avec des produits non-fongicides sont récentes et sont apparues dans les 20 dernières années (Mizubutil *et al.*, 2007).

La stratégie la plus couramment utilisée pour contrôler la maladie a été la prévention de la mise en place de *P. infestans* dans la plante hôte, principalement par l'utilisation d'organismes capables de produire des composés chimiques qui inhibent la germination des spores. Néanmoins, deux facteurs, probablement, qui font de lutte biologique difficile contre le mildiou de la pomme de terre sont entre autres, l'infection rapide en place et le développement explosive de la maladie. Il est raisonnable de supposer que de nombreuses tentatives d'utiliser la lutte biologique pour la brûlure tardive de la pomme de terre a été infructueuse et c'est peut-être la raison pour laquelle la littérature dans ce domaine est si rare est assez récente, ayant paru dans les 20 dernières années. Ainsi, des préparations à base d'organismes saprophytes, épiphytes et endophytes ont été évaluées comme agents de lutte biologique potentiels à la gestion du mildiou. L'antagonisme direct a été défini contre *P. infestans* en raison de l'antibiose, hyperparasitisme, et de la concurrence pour l'espace et de nutriments (Mizubutil *et al.*, 2007).

Un des premiers rapports publiés sur le biocontrôle du mildiou a été sur l'utilisation de suspensions conidiennes de *Penicillium aurantiogriseum* et *Stachybotrys atra* (= *S. chartarum*) appliqué à des tracts de plantes de pommes de terre cultivées en serre 12 h avant l'inoculation avec *P. infestans* (Jindal *et al.*, 1988). L'intensité du mildiou a été réduite de 93% et 84% respectivement. L'application simultanée d'agents de biocontrôle de lutte avec l'inoculum pathogène a également permis de maîtriser le mildiou avec une réduction de 86% et de 65% respectivement pour *P. aurantiogriseum* et *S. atra*. Lorsque les filtrats de culture de

ces deux organismes ont été appliqués 12 h avant ou au moment de l'inoculation, la sévérité du mildiou a été également réduite. Les explications possibles des résultats observés étaient l'antibiose et la concurrence pour l'espace et les nutriments (Jindal *et al.*, 1988).

Par ailleurs, certaines souches de rhizobactéries de type PGPR ont fait preuve de diminution de l'impact de la brûlure tardive de la pomme de terre. Deux PGPR, *Bacillus pumilus* et *Pseudomonas fluorescens* induisent la résistance à *P. infestans* et diminuent la formation et la germination des zoospores (Yan *et al.* 2002). De plus, des tests *in vitro* et *in vivo* ont montré que les espèces de *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rahnella*, et *Serratia* peuvent atténuer les symptômes de mildiou causé par un isolat très agressif qui est l'US-8 une lignée clonale de *P. infestans* par une combinaison d'antibiose et la résistance induite, ils étaient encore plus efficaces lorsqu'ils sont appliqués à titre préventif (Daayf *et al.*, 2003).

Parmi les nombreux essais effectués jusqu'à présent, les résultats les plus cohérents de lutte biologique contre le mildiou ont été obtenus avec l'application de *Xenorhabdus spp.* (Li *et al.*, 1995; Ng et Webster, 1997; Yang *et al.* 2001.). La fraction organique du surnageant d'un bouillon de culture de soja tryptique de *X. bovienii* venant du nématode *Steinernema feltiae* a été testé contre le mildiou où à 0,1 et 1,0 mg / ml. Elle a complètement empêché la croissance du mycélium de *P. infestans in vitro* et a réduit la taille des lésions du mildiou lorsque les folioles détachées ont été traitées avec 10 mg ou 50 mg / ml (Ng et Webster, 1997).

Dans une autre étude, les métabolites du bouillon de culture *X. nematophilus* isolés du nématode *S. carpocapsae* ont été également testés pour le contrôle *in vivo* du mildiou. Les traitements des plants de pomme de terre cultivés en pot par ces métabolites à raison de 25 et 50 mg / l ont été efficaces dans la réduction de l'intensité de la maladie (Yang *et al.*, 2001).

Une autre étude intéressante a démontré que la levure de type fongus *Pseudozyma flocculosa* a inhibé *in vitro* la croissance de *P. infestans* au moyen de l'acide cis-9 heptadécénoïque (CHDA), une molécule d'acide gras qui nuit à la perméabilité membranaire de *P. infestans*. Les auteurs ont postulé que la perméabilité membranaire altérée conduirait à une augmentation de la perte d'électrolytes dans et de protéines et de la désintégration même cytoplasmique des cellules (Avis et Bélanger, 2001).

Une autre ligne de recherche dans le domaine général de biocontrôle est l'utilisation d'organismes endophytes pour contrôler le développement des agents pathogènes. Le contrôle du mildiou a été tenté avec des champignons mycorhiziens arbuscules (AMF) (O'Herlihy *et al.*, 2003). Des plantules de pommes de terre provenant de la culture de tissus ont été transplantées sur le terrain, de l'AMF commercialisé a été appliqué dans le sillon au moment

du semis. Les auteurs ont fait valoir que l'épidémie de mildiou sur les plants de pommes de terre traitées avec de l'AMF était différée, mais une analyse attentive des courbes de la progression de la maladie a révélé des que le principal effet épidémiologique de l'application de l'AMF a été une réduction du taux de progression de la maladie. Pour les maladies polycycliques comme le mildiou c'est la stratégie la plus effective pour réduire les pertes de récoltes. Dans cette expérience, même si la sévérité du mildiou finale était élevée (environ 80%), le rendement en tubercules au format AMF parcelles traitées ne diffère pas du traitement le plus efficace: le chitosane (O'Herlihy *et al.*, 2003).

Parmi les champignons antagonistes qui ont démontré un bon potentiel de lutte, le *Trichoderma* sp est sans conteste le plus rapporté dans la littérature (Elad *et al.*, 1982 ; Harman,2006). De nombreux isolats de ce genre, ont été identifiés comme elicités de mécanismes de défense et donc agents de lutte biologique contre un large spectre de phytopathogènes (Mouria *et al.*, 2003).

Leur effet antagoniste concerne de nombreuses infections foliaires (Powel, 1992). *T. koningii* réduit sur les feuilles de Sorgho le piétin-verse provoqué par *Fusarium oxysporum* F. sp. *phaseoli* (Mutitu *et al.*, 1997); *T. harzianum* assure une protection des feuilles de Riz contre l'helminthosporiose due à *Helminthosporium oryzae* (Mouria *et al.*, 2003). L'application de *T. harzianum* sur les feuilles de Fraisier réduit de plus de 85 % les attaques de *Botrytis cinera* (Hjeljord, 2001). L'enrobage des semences de tomate par *T. harzianum* réduit de 80 % la fusariose des racines et du collet (Sivan, 1987)

De même, plusieurs isolats de *Trichoderma spp* ont été testés sur les feuilles détachées des plants de pomme de terre cultivés dans une serre pour le contrôle du mildiou. Les antagonistes ont montré une réduction de la maladie de 40% comparés aux témoins inoculés uniquement avec l'agent pathogène (Lozoya-Saldalla *et al.*, 2006).

Par ailleurs, les formulations commerciales de trois espèces antagonistes de *Trichoderma harzianum*, *Gliocladium virens*, et de *Bacillus subtilis* ont été testés pour le contrôle du mildiou sur les tomates et les pétunias cultivées sous serre. Les résultats étaient plus prometteurs sur des pétunias, qui sont moins sensibles au mildiou que la tomate (Beckett *et al.*, 2005).

Huang (2000) a également affirmé que *T. atroviride*, est aussi efficace que les fongicides classiques pour le contrôle des semences mildiousées. Il suggère que *T. atroviride* peut provoquer une réaction de résistance induite par l'hôte de pommes de terre résultant de la prévention mise en place de *P. infestans* sur les disques de pommes de terre. En outre, *T. atroviride* a causé l'effondrement cellulaire localisée suggérant un potentiel de mort cellulaire

hypersensitive. Ce phénomène peut également être impliqué dans la réponse induite par la résistance a noté dans les disques de pommes de terre à *P. infestans*.

Dans ce contexte, en Algérie, des travaux de recherche récents ont révélé l'effet elicitateur de certains isolats algériens de *Trichoderma* sp. dans le biocontrol *in vitro* des isolats de *P. infestans* agent du mildiou de la pomme de terre en Algérie (Saadoune, 2011).

Leur activité antagoniste *in vitro* a révélé une inhibition beaucoup plus marquée sur la sporulation que sur la croissance mycélienne mais faiblement la germination, et cela, en confrontation directe. Elle a également montré une variabilité selon les isolats phytopathogènes de *P. infestans*. Cette dernière peut être traduite par la compétition et le mycoparasitisme conduisant à la lyse ou la vésiculation du mycélium ainsi que la déformation ou la digestion du contenu des sporanges. Parallèlement, leur non survie a confirmé l'effet fongicide de certains isolats antagonistes (Hasni, 2012).

Dans ce même contexte, et selon plusieurs auteurs, Les mécanismes mis en jeu par *Trichoderma in vivo* seraient les mêmes que ceux mis en évidence *in vitro*, à savoir le mycoparasitisme et la lyse des organes, la sécrétion des substances volatiles et diffusibles et la compétition pour l'espace et les nutriments. Néanmoins, les études de l'action antagoniste, virus et champignons vis à vis du pathogène sont en cours d'expérimentation en plein champ (Howell, 2003 ; Berber et *al.*, 2009).

PDF Creator! 5 Trial
www.nuances.com

Conclusion & Perspectives

Conclusion

Ce présent travail rentre dans le cadre de la recherche de nouvelles méthodes de lutte biologique alternatives aux fongicides synthétiques utilisés dans le biocontrôle de *Phytophthora infestans* agent responsable du mildiou de la pomme de terre. Il vise l'étude du pouvoir antagoniste *in vivo* de onze souches de *Trichoderma* sp. sur feuilles détachées de deux variétés de pomme de terre Spunta et Kondor en considérant plusieurs modes d'application de ces antagonistes à l'égard de deux isolats A1 et A2 de *P. infestans*.

Au terme de cette étude, il est important de rappeler les résultats les plus importants de cette étude :

La phytopathogénéicité engendrée par les deux isolats A1 et A2 de *P. infestans* a été réduite sous l'action des traitements à base des onze isolats antagonistes du genre *Trichoderma* sur les deux variétés de pomme de terre testées et selon les quatre modes d'application des traitements. Néanmoins, quelques différences ont pu être mises en évidence selon les paramètres étudiés.

La période d'apparition des symptômes a été plus longue pour le mode d'application préventif par incorporation au sol avec les isolats antagonistes TCO, PA, P5E3 (Pas de symptôme durant les quatre jours). Elle a été de 4 jours pour le traitement M12 concernant le même mode et pour le traitement BK2 concernant le mode curatif. Pour le reste des isolats antagonistes, cette période a été comprise entre 2 et 4 jours pour les quatre modes d'application. Elle a également montré une variabilité selon les deux isolats phytopathogènes de *P. infestans*, où A1 a reproduit les symptômes plus rapidement que A2 pour les témoins positifs et pour l'ensemble des modes d'application mis à part le mode préventif par incorporation au sol où A2 s'est manifestée plus rapidement que A1.

L'activité antagoniste des onze souches de *Trichoderma* vis-à-vis le *P. infestans* a induit la réduction de la maladie. Cette dernière a atteint les 85% pour le mode d'application préventif par incorporation au sol, 65% pour le mode préventif par trempage et 56% pour le mode curatif. Elle a été beaucoup plus prononcée sur la variété Spunta que la variété Kondor. Parallèlement, des pourcentages variables ont été distingués en fonction des antagonistes étudiés et leurs modes d'application. Ainsi, les antagonistes BK2, P5E3, P3E2, TCO, ABS1 et M12 peuvent être recommandés pour le mode curatif et le mode préventif par incorporation au sol. D'autre part, d'importants taux de réduction de la maladie ont été enregistrés pour l'isolat A1 de *P. infestans* avec le mode préventif par incorporation au sol et le mode curatif.

Par ailleurs, les taux d'inhibition de la sporulation ont été très importants pour l'ensemble des modes d'application des antagonistes (90%). Ils ont dépassé les 85% pour les deux variétés testées et ont atteint même les 100% avec le mode curatif. Ils ont été plus importants sur la variété Kondor que sur la variété Spunta mis à part le mode préventif par pulvérisation. Une très forte inhibition de la production des sporanges a été induite par les isolats antagonistes du genre *Trichoderma*. Elle a atteint même les 100% avec les isolats TVIR, TO, TCO, PA, M12 et BK2 selon le mode préventif par incorporation au sol et, les isolats TVIR, TO, TCO, PA, P5E3, P3E2 et BK2 selon le mode curatif. Elle a été aussi plus importante pour la souche A1 selon le mode d'application curatif et, pour A2 avec le mode préventif par incorporation au sol.

En effet, vu l'importance de la réduction de la maladie et l'inhibition de la sporulation induite par les isolats antagonistes du genre *Trichoderma*, des isolats peuvent être recommandés dans la gestion du mildiou en Algérie. On peut préconiser l'isolat P5E3 (%RM = [73.68-95.12%] ; IPC=100%) comme traitement préventif par pulvérisation sur la culture pendant le cycle végétatif précédant la floraison, l'isolats P3E2 (%RM = [70.58-100%] ; %IPC=100%) ou BK2 (%RM = [89.13-100%] ; %IPC= [100%]) comme traitement curatif par pulvérisation ou encore, les trois isolats M12 (%RM = [95.61-100%] ; %IPC=100%), PA (%RM = [85.86-100%] ; %IPC=100%) et TCO (%RM = [94.21-100%]; %IPC=100%) comme traitements préventifs par incorporation au sol quinze jours avant la plantation.

De ce présent travail, plusieurs portes s'ouvrent à la recherche. Il serait nécessaire de :

- caractériser et d'identifier les isolats antagonistes les plus performants,
- Etudier leur profil enzymatique,
- Produire en masse et formuler les isolats antagonistes les plus efficaces pour les tester *in vivo* en plein champ,

- Etudier la toxicologie et la rémanence des traitements à base de ces isolats antagonistes avant de les commercialiser.
- Tester leur pouvoir antagoniste vis-à-vis d'autres agents phytopathogènes redoutables.

References bibliographiques

References bibliographiques

- **Abd-El-Khair, H., Wafaa, M. (2007).** Application of Some Egyptian Medicinal Plant Extracts Against Potato Late and Early Blights Plant Pathology Dept., National Research Centre, Dokki, Giza, Egypt., Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3(3): 166-175.
- **Ahmed-Serir, B. & Moussaoui, A. (2011).** Le mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie : Caractérisation culturale et pathogénique de trois isolats Algériens de *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary. Th. Ing.Univ. Saad Dahleb de Blida, Algérie:47.
- **Ait Yahia, C. (1996).** Contribution à l'étude de l'antagonisme in vitro de *Trichoderma harzianum* vis-à-vis de l'agent de Fusariose vasculaire chez la lentille et le melon. thèse .d'Ing.Agro.Chlef :50.
- **Alabouvette, C. ; Couteaudier, Y. & Louvet, J. (1983).** Importance des phénomènes de compétition nutritive dans l'antagonisme entre microorganismes, XXIV.Colloque de la société Française de phytopathologie(34), Bordeaux (FR) : 7-16.
- **Alim, Y. (2010).** La filière de pomme de terre en Algérie: 12-13.
- **Andriveau, D. & Lebreton, L. (1997).** Mildiou de la pomme de terre, ou en sommes-nous après 150 ans?.Phytoma, 494 (5) : 24-27.
- **Andriveau, D., (1995).** Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology* 85: 1053-1056.

- **Andrivon, D. (1994).** Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils. *Soil Biologie and biochemistry* 26: 945-952.
- **Anonyme., (2012).** salon international de la pomme de terre Mosta batatis spécial quatrième édition : 4-6
- **Anonyme., (2008).** Maladies, ravageurs et désordres de la pomme de terre. Guide d'identification et fiches descriptives. Co-edition: Fnpppt, Gnis et Arvalis : 192 p.
- **Anonyme., (2006).** Protection phytosanitaire en culture de pomme de terre biologique, Fiche 1 : Lutte contre les champignons et les bactéries pathogènes.
- **Avis T. & Bélanger, R. (2001).** Specificity and mode of action of the antifungal fatty acid cis-9-heptadecenoic acid produced by *Pseudozyma flocculosa*. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 956-960.
- **Bahous, M. ; Ouazzani Touhami, A. & Douira, A. (2008).** Survie de quelques pathogènes fongiques sur les feuilles de riz conservées au laboratoire. Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Département de Biologie, UFR de Mycologie, Laboratoire de Botanique et de Protection des Plantes, Kénitra, Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n°30, 13-18.
- **Baker, R. (1988).** *Trichoderma* spp. as plant-growth stimulants, *CRC Crit. Rev. Biotechnol.* 7 (2): 97-106.
- **Bamouh, A. (2003).** Fiche technique, l'abricotier, le prunier, le poirier et le pommier. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, Transfère de technologie en agriculture, n° 107 Arboriculture, Ministère de l'agriculture et de développement rural, Maroc : 4.
- **Becktel, M.C.; Daughtrey, M.L. & Fry, W.E. (2005).** Epidemiology and management of petunia and tomato late blight in the greenhouse. *Plant Disease* 89, 10001008
- **Bellahcene, M. & Chet, I. (1990).** Cellular and molecular mechanisms involved in the interaction between *T.harziamum* et *Pytium ultimum*. *Appl. Envir. Microbiol.* 63:2095-2099.
- **Benoît, B., (2012).** Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France ,BDNFF v4.02
- **Berber F., Ouazzani Touhami M., Badoc A. & Douira A. (2009).** Antagonisme *in vivo* de deux *Trichoderma* à l'égard de quatre espèces de *Bipolaris* pathogènes sur le Sorgho., *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 148, 93-114.

- **Besnard, O. (1992).** Etude de souche de *Trichoderma* à la fois stimulatrice de croissance de plantes et antagoniste du *Phytophthora infestans*. Thèse de doctorat. Université Montpellier :107
- **Bissett, J. (1991).** A revision of the genus *Trichoderma*.Section *Pachybasium*.Can. J. Bot 69: 2373-2417
- **Blaeser, P. & Steiner, U. (1998).** Antifungal activity of plant pathology extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*). In *Modern Fungicides and Antifungal Compounds II*. 12th International Reinhardt's Symposium, Friedrichroda, Thuringia, Germany, 24th-29th May 1998. *Review of Plant Pathology* 78: 936.
- **Blaeser, P. & Steiner, U. (1999).** Antifungal activity of plant extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*). *Modern Fungicides and Antifungal Compounds* 11-12th. International Reinhardt's Symposium, Friedrichroda, Germany, 24-29th May, 1998:491- 499.
- **Botton, B. ; Breton, A. ; Serve, M. ; Guy, Ph. ; Larpen, J. B. & Veau, P. (1985).** Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle – Collection Biotechnologie. Ed. Masson, Paris. : 364.
- **Bouchet, P. ; Guignard, J. ; L., Pouchus, Y. F. ; & Villard, J. (2000).** Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée. Abrégés. Biochimie végétale. 2^{ème} édition Masson : 274 p.
- **Caron, J. L. ; Laverdière, P. O. Thibodeau & R. R. Bélanger. (2002).** Utilisation d'une souche indigène de *trichoderma harzianum* contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Québec. *Phytoprotection* 83: 73-87.
- **Carrier, A. & Senécal, M. (2008).** Bulletin d'information cultures en serres: un nouveau fongicide
- **Chamont, S., (2010).** Le micro-organisme pathogène de la culture description de l'agent pathogène,. *Perspectives Agricoles* 236:1-20.
- **Changins,W. et Reckenholz, T. (2008).** La Pomme de terre – Journée Information Agriculture La pomme de terre dans la coopération au développement
- **Chehat, F., (2008).** La filière pomme de terre Algérienne : une situation précaire. Journée d'étude sur la filière pomme de terre : Situation actuelle et perspectives. I.N.A. El Harrach, le 18 Juin 2008, Alger : 1-11 pp.
- **Christine, D. S.; Roberts, W. S.&Fry, W. E. (2000).** Molecular Techniques and the mystery of the potato late blight, in *Potato Late Blight Pathogen* : 21-42.

- **Clarys L., (2005).** La pomme de terre de contre saison dans le Sud Est Malgache. Inter aide, Programme Agricole MANAKARA, 3p
- **Compobello, E.W.A.; Drenth, H.H. & Leifrink, R.S. (2002).** Culture professionnelle de Pomme de terre. Plantation. 2^eme édition. NIVVA : 22.
- **Cournut, B. (1984).** Le genre *Trichoderma* hyphomycètes. Th.Pharmacie : Marseille :77. current concepts. *Plant Dis.* 87(1): 4-10.
- **Daayf, F. ; Platt, H.W. & Peter, R. D. (2003).** Changes in mating types, resistances to metalaxyl, and Gpi-allozyme genotype of *Phytophthora infestans* in Canada province from 1996 to 1998. *Canadian Journal of Plant Pathology* 22:110-116.
- **Davet, P. & Rouxel, F. (1997).** Détection et isolement des champignons du sol. Eds. INRA, Paris. France.194 p.
- **Davet,P. (1983).** Introduction et conservation des trichoderma dans le sol. In les antagonismes microbiens. Modes d'action et application à la lutte biologique conte les maladies des plantes.-24^e Colloq. Soc. Fr. Phytopathol., Bordeaux, 26 mai 1983. Versailles : INRA, p. 159-168.
- **Djafer, A. (2011).** Impact de l'utilisation des isolats algériens de *Trichoderma* sp. sur la culture de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L.en Algérie. Th. Mast .Univ. Saad Dahleb de Blida :74.
- **Dommergues, y. & Mangenot, F. (1970).** Ecologie microbienne du sol. Ed. Masson & cie : 796.
- **Dubois, A Gandon, S., Capowicz, Y., Michalakis, Y. & Olivieri, I. (1996).** Local adaptation and gene-for-gene coevolution in a metapopulation model. *Proc. R. Soc. London B* 263: 1003-1009.
- **Duvanchelle, S. & Andrivon,D. (1996).** Maladies à distribution géographique mondiale : le mildiou et son agent *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. in la pomme de terre. Rousselle,P. ; Robert,Y. & Groissier,J.C.ed. INRA et ITCF.france : 607.
- **Elad ,Y. ; Chet, I. & Henis, Y. (1982).** Degradation of plantpathogenic fungi by *Trichoderma harzianum*. *Can. J.Microbiol.* **28**: 719–725.
- **Erwin, D. C. & Ribeiro, O. K. (1996).** *Phytophthora* diseases worldwide. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.: 562.
- **FAO., (2008).** Faostat, produit par pays <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- **FAO., (2010).** Faostat, produit par pays <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- **Fontem, D. A., Olanya O.M., Tsopmbeng G.R. & Owona M.A.P. (2004).** Pathogenicity and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates obtained

from garden huckleberry, potato and tomato in Cameroon. A Plant Protection Department, University of Dschang, Box 208, Dschang, Cameroon, bUSDA-ARS, New England Plant, Soil and Water Lab, University of Maine, Orono, ME 04469 USA.

- **Gallegly, M. E. & Hong, C. (2008).** Phytophthora: Identifying species by morphology and DNA Fingerprints. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota USA. 157 p.
- **Gisi, I. U. & Cohn, Y. (1996).** Resistance to phenylamide fungicide; A case study with Phytophthora infestans. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands.:147.
- **Goodwin, S. B. ; Sujkowski, L. S. et Fry, W. E. (1998).** Genetic change within population of *P.infestans* in the united states and Canada during 1994 to 1996: Role of migration and recombination. Phytopathology 88: 939-949.
- **Haine, D. & Verlaine, A. (2006).** Asbl Pameseb : Un réseau de stations météorologiques automatiques télémessurées. Direction Générale de l'Agriculture de la région Wallonne : 42 p.
- **Hamdani, M. (2008).** Etude comparative du développement de la teigne de la pomme de terre *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera : Gelechiidae) dans la région de Ain Defla, de Zéralda et de Boumerdes - estimation des dégâts
- **Hamlaoui, Y. (2009).** Efficacité de quelques isolats algériens fongiques de *trichoderma harzianum* et *paecilomyces lilacinus* sur les nématodes à galles genre *Meloidoyne*. Thèse. Ing. Univ. Saad Dahlab de Blida Algérie : 49.
- **Hammi, A. (2003).** Caractérisation de populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary dans la région de Saïs. Thèse de doctorat. Université Sidi Mohamed Ibn Abdollah. Fes. Maroc : 272 p.
- **Hammond-Kosack, K.E. & Parker, J.E. (2003).** Deciphering plant-pathogen communication; fresh perspectives for molecular resistance breeding. Current Opinion in Biotechnology : 14, 177-183.
- **Hampton, M. C. (1992).** Some thoughts on demography of the great potato famine. Plant Diseases. 76: 1284-1286 pp.
- **Harman, G.E. (2006).** Aperçu des mécanismes et utilisation des *Trichoderma spp.* . Phytopathology 96:190-194.
- **Harrison, J. G. & Lowe, R. (1990).** Effects of humidity and air speed on sporulation of *Phytophthora infestans* on potato leaves. Plant Pathology 38 : 585-591.

- **Hasni, (2012).** Antagonisme in vitro du genre *Trichoderma* indigène à la rhizosphère de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont) de Barry. Agent responsable du mildiou en Algérie. Th.Ing. Univ. Saad Dahlab de Blida.
- **Henfling, J. W. (1987).** Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information technique, C. I. P, Lima Pérou, p: 23-30.
- **Hjeljord, G. L.; Stensvand, A.; Tronsmo, A. (2001).** Antagonism of nutrient-activated conidia of *Trichoderma harzianum* (*atroviride*) P1 against *Botrytis cinerea*. *Phytopathology*, **91**(12), 1172-1180.
<http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHTO.2001.91.12.117>
- **Howell, C.R. (2003).** Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Dis.* **87**(1): 4-10.
- **Huang, J. (2000).** Control of seed-borne late blight on pre-cut potato seed with *Trichoderma atroviride*. Plant Pathology and Biotechnology Program, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK 99775, and William W. Kirk, Department of Botany and Plant Pathology, Michigan State University, East Lansing, MI 48824.
- **INVA. (2007).** La culture de la pomme de terre. Agriculture et développement n°08. Revue de vulgarisation et de communication éditée par l'INVA : 49-60 .
- **Isaac, S. (1992).** Fungal-Plant Interaction. Published by Chapman and Hall, 2-6 Boundary Row. London: 441 p.
- **Jindal, K. K. ; Singh, H. & Meeta, M. (1988).** Biological control of *Phytophthora infestans* on potato. *Indian Journal of Plant Pathology* 6, 59-62.
- **Jolivet, E. (1969).** Physiologie de la tubérisation. *Annal de phésiologie végétale* 11 : 198-199.
- **Kessaci, M. (2006).** L'importance des fruits et légumes dans la promotion de la nutrition et de la santé. Production de la pomme de terre en Algérie. L'actuel International 73, Algérie : 38-41 pp.
- **Kessel, G. J. T. & Förch, M. G. (2006).** Effect of UV-esposure on germination of sporangia of *P. infestans*. *Plant Research Internatinal B.V. Wageningen. Note 395* : 12.
- **Klarfeld, S.; Avia, R. & Cohen. Y. (2009).** Pathogenic Fitness of Oosporic Progeny Isolates of *Phytophthora infestans* on Late-Blight-Resistant Tomato Lines. *The Mina*

& Everard Goodman Faculty of Life Sciences, Bar-Ilan University, Ramat-Gan, Israel.
The American Phytopathological Society.

- **Krebs, H. ; Dorn, B. & Forrer, H.R.(2006)**. Lutte contre le mildiou de la pomme de terre avec des préparations à base de plantes. *Revue suisse Agric.* 38 (4): 203-207.
- **Kredics,L. ; Antal,Z.; Manczinger,L.; Szekeres,A.; kevel,F. & Nagy,E. (2003)**. Influence of environmental parameters on *Trichoderma* strains biocontrol potential. *Food technol .biochnol.*41(1):37-42.
- **Kuepper, G. et Preston, S. (2004)**. Solutions biologiques de lutte contre le mildiou de la pomme de terre
- **Labdi, C.EH. (2008)**. Caractérisation et identification des isolats Algériens fongiques en vue d'utilisation contre les nématodes à galles du genre *Meloidogyne*. Thèse d'ingénieur en agronomie. Phytopathologie. Université Saad Dahlab de Blida :51 .
- **Lacey, J. (1965)**. The infectivity of soils containing *Phytophthora infestans*. *Annals of Applied Biology* 59 : 363-380.
- **Lacroix, M. (1999)**. La tomate de serre, une plante hôte pour le mildiou causée par *Phytophthora infestans*. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection. Direction de l'Innovation Scientifique et Technologique, MAPA, Québec. Canada : 11 p.
- **Latten, J. (1994)**. Biologische Bekämpfung phytopathogener Pilze mit Hilfe von Pflanzenextrakten, Justus Liebig University, PhD-thesis : 121.
- **Legemble, J., (2008)**.Le mildiou de la tomate (*Phytophthora infestans*), Fiche Technique du service régionale de la protection des végétaux de haute-Normandie. :4.
- **Li, J.; Chen, C. & Webster, J. M. (1995)**. Antimicrobial metabolites from a bacterial symbiont. *Journal of Natural Products* 58, 1081-1086
- **Lozoya-Saldafia, H.; Coyote-Palma, M.H.; Ferrera-Cerrato, R. & Lara-Hernandez, M. E. (2006)**. Microbial antagonism against *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. *Agrociencia* 40, 491-499.
- **Lynch, J.M. ; Lumsden,R.D.; Atkeyet,P.T. & Ousley,M.A. (1991a)**. Prospects for control of *Pythium* damping-off of lettuce with *Trichoderma*, *Gliocladium* and *Enterobacter* spp. *Biol. Fertil. Soils* 12 : 95-99.
- **Lynch, J.M.; Wilson, K.L.; Ousleyet, M.A. & Whipps, J.M. (1991b)**. Response of lettuce to *Trichoderma* treatment. *Lett. Appl.Microbiol.* 12 : 56-61.
- **Maaro ,E.B. , (2010)**.Stratégies de lutte contre le mildiou de la pomme de terre. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/2010-late-blight.htm>.

- **Madec, P., (1966).** Croissance et tubérisation chez la pomme de terre. Bulletin de la Société Française de Physiologie Végétale 12 : 159-173.
- **MADR., (2011).** Services de statistiques des cultures, ministère d'agriculture et de développement rural.
- **Malajczuk, N. (1983).** Microbial antagonism to Phytophthora spp. 197 - 217 in Phytophthora its biology, taxonomy, ecology and pathology. D C Erwin, S Bartnicki-Garcia & P H Tsao (eds). American Phytopathological Society, St Paul. :392.
- **Martin, J. F. (2004).** Culture de la pomme de terre de conservation. Arvalis. Institut du végétal : 4-11.
- **Mizubutil, E. S. G.; Ainiori, V. L. & Forbes, G. A. (2007).** Management of late blight with alternatives products. Pest Technology 84(2), Global Science Books: 106-116.
- **Montarry, J. (2007).** Réponse adaptative des populations de Phytophthora infestans, agent du mildiou de la pomme de terre, au deployment en culture de son hôte Solanum tuberosum. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. France. 177 p.
- **Moumene, S.; Nebih, D & Djazouli, Z. E. (2005/2008).** Recherche des champignons filamenteux associés aux nématode de galles de la tomate en Algérie : Projet DURAS /NEMATUS (2DCG3-5) ;Acronyme :Nematus (Nématode Maroc Algérie Tunisie Sénégal). : Approche intégrative de la gestion des nématodes phytoparasites en systèmes maraichers méditerranéens et sahéliens ; Fond de solidarité prioritaires DURAS : promotion du développement durable dans les systèmes de recherche agricole du sud ; Ministère Français des Affaires étrangères (soutien du FSP forum de la recherche agricole /GEAR).
- **Mouria, A. ; Ouazzani Touhami, A. ; Douira,A. (2003).** Étude de certains facteurs favorisant le maintien de l'activité antagoniste de *Trichoderma harzianum* à l'égard de *Helminthosporium oryzae* sur les feuilles de riz. - *Cah. Rech.*, 2003, **5**, 50-66.
- **Mutitu, E.W. & Muriungi, S. (1997).** control of root rot of beans caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* using an antagonist *Trichoderma* spp. - *Afr. Crop Sci. Conf. Proc.*, 1997, **3**, 1063-1067.
- **Ngamo, L. S. T. & Hance, T. H. (2007).** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropiculteur* 25 (4) : 46.
- **Ng, K. K. & Webster, J. M (1997).** Antimycotic activity of *Xenorhabdus bovienii* (Enterobacteriaceae) metabolites against *Phytophthora infestans* on potato. plants. *Canadian Journal of Plant Pathology* **19**, 125-132.

- **O'Herlihy, E. A.; Duffy, E.M. & Cassells, A. C. (2003).** The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and chitosan sprays on yield and late blight resistance in potato crops from microplants. *Folk: Geobotanica* **38**, 201-207.
- **Paitier, G., 1980.** Le mildiou de la pomme de terre. *Phytoma* (4): 23-27.
- **Peeten, H. G.; Shipper, E. & Baarveld, H. R. (2007).** Catalogue néerlandais des variétés de la pomme de terre .164 :1-164.
- **Peter, H. ; Raven, R. ; Evert, F. & Susen, E. (2003).** Biologie végétale, Edition De Boeck, Paris : 968.
- **Powel, K.A. (1992).** Biocontrol product fermentation, formulation and marketing. *NATO ASI Ser.: Ser. A: Life Sci.*, 1992, **230**, 381-387.
- **Radtke, W. & Rieckmann, W. (1991).** Maladies et Ravageurs de la Pomme de Terre. Th. Mann, Gelsenkirchen-Bue, Canada, 120 p.
- **Robuchon J. (1994)** .Le meilleur et le plus simple de la pomme de terre. Ed. Robert Laffont, 250p
- **Rohner, A. (2002).** Genetic characterization of early-seasonal isolates of *Phytophthora infestans* from Switzerland. Master Th. :50.
- **Rousselle, P.; Robert, Y. & Grosnier, J.C. (1996).** La pomme de terre, amélioration, ennemis, maladie et utilisation. (I.N.R.A.) Paris : 607.
- **Saadoune, A. (2011).** Antagonisme des isolats algériens de *Trichoderma sp.* à l'égard des isolats algériens de *Phytophthora infestans* agent responsable du mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie. Th.Ing. Univ. Saad Dahlab de Blida : 63.
- **Schepers, H. (2007).** Late blight in potatoes. *Applied Plant Research*. Wageningen. 19.
- **Schwinn, F. J. & Margot, P. (1991).** Control with chemicals. In Ingram, D.S., Williams, P.H. Eds., *Advances in Plant Pathology. Phytophthora infestans, the Cause of Potato Late Blight*, Vol. 7. Academic Press Limited, San Diego, CA, USA: 225–265.
- **Sediqui M., Carroll, R. B. & Morehart, A. L. (1997).** First report from Morocco of *Phytophthora infestans* isolates with metalaxyl resistance. *Plant Disease*. 81 : 831.
- **Sivan, A.; Ucko, O. & Chet, I. (1987).** Biological control of *Fusarium* crown rot of tomato by *Trichoderma harzianum* under field conditions. - *Plant Dis.*, 1987, **71**(7), 587-592.

- **Smart, C. D.; Mayton, H.; Mizubuti, E. S. G.; Willmann, M. R. & Fry, W. E. (2000).** Environmental and genetic factors influencing self-fertility in *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 90: 987-994.
- **Soltner, D. (2005).** Les grandes productions végétales. 20^{ème} édition. Collections Sciences et Techniques agricoles. 472.
- **Spooner, D. M., McLean, K., Ramsay, G. (2005).** A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102 : 14694-14699 pp.
- **Sugiyama, J. (1987)** Pleomorphic fungi: the diversity and its taxonomic implications. Tokyo, Elsevier: 325.
- **Swiezynski, K. M., Chrazanowska, M., Domanski, L. & Zimonoch-Guzowska, E. (2001).** Comparaison of resistance evaluation in potato variety assessment. *Potato Research* 44 : 25-31.
- **Thurston, H. D. & Schultz, O., (1981).** Late blight in compendium of potato disease. Hooker Eds. APS Press Michigan, USA: 40-42.
- **Vartanian, V. G. & Endo, R. N. (1985).** Overwintering hosts, compatibility types, and races of *Phytophthora infestans* on tomato in Southern California. *Plant Disease* 69: 516-519.
- **Woodham-Smith, C. (1962).** The Great Hunger, Ireland 1845-1849. Penguin Ltd., London. Wright, S. (1986) *Evolution: Selected Papers*. (W.B. Provine ed.) University of Chicago Press, Chicago. Zeigler, R.S.
- **Yang, X.; Zhang, Z.; Yang, H. & Jian, H. (2001).** Inhibition of metabolites from *Xenorhabdus nematophilus* against *Phytophthora infestans*. *Journal of Hebei agricultural university* 24, 65-68.
- **Yang, X.; Zhang, Z.; Yang, H. & Jian, H. (2001).** Inhibition of metabolites from *Xenorhabdus nematophilus* against *Phytophthora infestans*. *Journal of Hebei Agricultural University* 24, 65-68.
- **Zwankhuizen, M.J. (1998).** Potato late blight epidemics and population structure of *Phytophthora infestans*. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Netherlands: 147.

PDF Create! 5 Trial
www.nuance.com

Annexe

Annexe 02 : Composition du milieu petits pois.

Selon Hammi (2003), Le milieu petit pois est un milieu naturel à base de :

- -140g petit pois de conserve gélosé
- 20g agar agar

- 1000 ml Eau distillée stérile

Annexe 02 : Composition du milieu de culture PDA.

Johnson et Booth, 1983 in Hammi, 2003:

- 200g pomme de terre.
- 20g glucose
- 20g d'agar-agar
- 1000 ml d'eau distillée

PDF Create! 5 Trial
www.nuance.com

Table des matières

Introduction2

Chapitre I : Données bibliographiques

1.1. Aperçu sur la pomme de terre.....3
1.1.1 Description botanique.....3

1.1.2 Historique.....	4
1.1.3 Exigences culturelles.....	4
1.1.4 Cycle biologique de développement.....	5
1.1.5 Importance économique.....	5
1.1.6 Problèmes phytosanitaires.....	9
1.2 Généralités sur l'agent pathogène	11
1.2.1 Systémique.....	11
1.2.2 Aspect cultural de <i>Phytophthora infestans</i>	11
1.2.3 Morphologie	11
1.2.4 Spécificité parasitaire.....	12
1.3 Généralité sur la maladie	12
1.3.1 Historique.....	12
1.3.2 Symptômes	12
1.3.3 Importance économique de la maladie.....	13
1.3.4 Cycle biologique de la maladie	14
1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre.....	15
1.4.1 Méthodes préventives et prophylactique.....	15
1.4.2 Lutte chimique	15
1.4.3 Lutte génétique.....	16
1.4.4 Lutte biologique.....	16
1.5 Aperçue sur les <i>Trichoderma sp.</i>	17
1.5.1 Taxonomie.....	17
1.5.2 Caractérisation culturale et morphologique.....	19
1.5.3 Ecologie.....	19
1.5.4 Intérêt de l'utilisation de <i>Trichoderma sp.</i> dans l'agriculture biologique	20

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Introduction	21
2.1 Matériel biologique	21
2.1.1 Tubercules de semence de pomme de terre	21
2.1.2 Matériel fongique	22
2.1.2.1 Les isolats antagonistes.....	22
2.1.2.2 Les souches phytopathogènes.....	24
2.2 Méthodologie de travail.....	25
2.2.1 Mise en culture de la pomme de terre.....	25
2.2.2 Préparation des traitements à base de <i>Trichoderma sp.</i>	26
2.2.3 Préparation des inocula.....	28

2.2.4 Etude du pouvoir antifongique des traitements à base de <i>Trichoderma</i>	28
2.2.4.1 Récolte des feuilles détachées de pomme de terre.....	28
2.2.4.2 Préparation du tissu foliaire.....	29
2.2.4.3 Traitements et inoculations.....	30
2.2.4.3.1 Traitement préventif par incorporation dans le sol.....	30
2.2.4.3.2 Traitement préventif par pulvérisation.....	30
2.2.4.3.3 Traitement préventif par trempage.....	30
2.2.4.3.4 Traitement curatif.....	31
2.2.4.4 Evaluation du pouvoir antagoniste <i>in vivo</i> des isolats de <i>Trichoderma</i> sp. sur la phytopathogénicité de <i>P.infestans</i>	31
2.2.4.4.1 Période d'apparition des symptômes.....	31
2.2.4.4.2 Réduction de la maladie.....	31
2.2.4.4.3 Inhibition de la sporulation.....	32
2.3 Analyse statistique.....	32

Chapitre III : Résultats et Discussion

3.1 Description des symptômes foliaires.....	33
3.2 Evaluation du pouvoir antagoniste des isolats de <i>Trichoderma</i>	34
3. 2.1 Période d'apparition des symptômes.....	34
- en fonction des modes d'application des traitements.....	35
- selon les modes d'application des traitements en fonction des variétés testées...36	
- selon les modes d'application des antagonistes en fonction des souches de <i>Phytophthora infestans</i>	37
- selon les modes d'application des traitements en fonction des isolats antagonistes de <i>Trichoderma</i> sp.....	38
- Analyse en composante principale (ACP) de la période d'apparition des symptômes...39	
3.2.2 Réduction de la maladie.....	40
- en fonction des modes d'application des traitements.....	41
- selon les modes d'application des traitements en fonction des variétés testées...42	
- selon les modes d'application des antagonistes en fonction des souches de <i>Phytophthora infestans</i>	42
- selon les modes d'application des traitements en fonction des isolats antagonistes de <i>Trichoderma</i> sp.....	43
- Analyse en composante principale (ACP) de la réduction de la maladie.....	48
3.2.3 Inhibition de la sporulation.....	49
- en fonction des modes d'application des traitements.....	50
- selon les modes d'application des traitements en fonction des variétés testées.....51	
- selon les modes d'application des antagonistes en fonction des souches de <i>Phytophthora infestans</i>	51
- selon les modes d'application des traitements en fonction des isolats antagonistes de <i>Trichoderma</i> sp.....	52
- Analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la production des spores.....	53
3.3 Discussion générale.....	54
Conclusion et perspectives.....	58

Références bibliographiques

Table des matières

Annexe

PDF Create! 5 Trial
www.nuance.com