

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 ET BIOLOGIQUES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master II en sciences
agronomiques

Spécialité : Biotechnologie des Plantes Médicinales et Aromatiques et des Produits
Naturels

THEME

**L'effet antagoniste de *Trichoderma* à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la
pomme de terre en Algérie**

Présenté par : ABBEDDOU Imene

Devant le jury composé de :

Mr. SNOUSSI S.A.	Pr	USDB	Président
Mme. MOUMENE S.	MAA	USDB	Promotrice
Mr. ALI OUSSALAH A.E.H.	MAA	USDB	Examinateur
Mme. CHEBATA N.	MAA	USDB	Examinatrice

Année universitaire 2011/2012

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ces années d'étude formidables.

*Je tiens à remercier sincèrement Mme **MOUMENE S.**, qui, en tant que Promotrice de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, la gentillesse, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer.*

Je remercie les différents membres du jury d'avoir accepté juger ce travail, et qui ont apporté leur expérience dans l'analyse de ce modeste travail :

Mr. SNOUSSI S.A

Mr. ALI OUSSALAH A.E.H

Mme. CHEBATA N.

*Mes remerciements s'étendent également à tous mes enseignants durant les années universitaires, particulièrement Mme. **HOUMANI Z.** pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*Je tiens à remercier également Monsieur **BELLATRECHE M.**, pour l'aide qu'il m'a apporté dans la réalisation des analyses statistiques, qu'il trouve ici toute ma gratitude.*

*Il m'est agréable de témoigner mon estime et ma reconnaissance aux personnels de l'**INPV** pour leurs aides, disponibilités et leurs orientations.*

*J'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes collègues de travail au niveau de laboratoire de l'Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne **ITAFV**, j vous remercie pour vos conseils, aides, et compréhensions.*

Enfin, je tiens à remercier ma chère famille, à tous ceux et celles qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A

Mon monde particulier

A

Ma chère mère et mon cher père

*en témoignage de ma reconnaissance envers leur amour, le soutien, les sacrifices et
tous les*

efforts qu'ils ont fait pour mon éducation ainsi que ma formation

A

Mes chères sœurs Karima, Samira, Faïza et Souheila

Mes chers frères Salim et Abdenour

Pour leur affection, compréhension et patience

A

Mon amie proche Wafaâ

La confidente de mes tourments et l'oreille attentive à mes paroles et désires

A

Toute la promotion biotechnologie des plantes aromatiques et médicinales

Pour les agréables moments passés ensemble

Merci 

Résumé

L'effet antagoniste *in vivo* de *Trichoderma sp.* vis-à-vis du *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie

L'inoculation *in vivo* des plants de la variété Spunta de pomme de terre par les souches Algériennes de *Phytophthora infestans* A₁ et A₂, consiste à l'application des antagonistes T₁, T₂ et T₃ de *Trichoderma sp.* selon trois modes: par leur incorporation au sol avant plantation comme mode préventif, leur pulvérisation sur la surface foliaire avant inoculation pour sa prévention et après inoculation comme mode curatif.

Les traitements ont réduit considérablement l'incidence et la sévérité de la maladie par rapport aux témoins positifs. Le pourcentage de la réduction de la maladie enregistré par l'application des différents traitements varie entre 79.20 et 97.00%. L'efficacité la plus importante a été obtenue par l'application des deux modes préventifs : l'incorporation au sol de l'antagoniste T₂ et la pulvérisation de T₃, qui ont enregistré des taux de réduction de la maladie compris entre 90 et 85%.

Notre étude a révélé que l'utilisation d'isolats algériens de *Trichoderma sp.* selon les différents modes de traitements présente un bon potentiel dans le biocontrôle du mildiou de la pomme de terre sous les conditions des chambres de culture. Le test de leur efficacité en plein champ est à envisager avant leur application à grande échelle.

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

Abstract

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

The inoculation *in vivo* of the plants of a potato variety “Spunta” by the Algerian strains of *Phytophthora infestans* A₁ and A₂, consists in the application of the antagonists T₁, T₂ and T₃ of *Trichoderma sp.* under three methods: by their incorporation into the soil before plantation as a preventive mode, their pulverization on the leaf surface of the plants before inoculation for its prevention and their pulverization after inoculation as curative mode.

The application of *Trichoderma sp.* reduced significantly the incidence and severity of the disease, compared to the positive control. The percentage of disease reduction recorded by the application of different treatments varies between 79.20 and 97.00%. The most important efficiency was obtained after the application of the two preventive modes: the incorporation of the antagonist T₂ into the soil and the pulverization of T₃, which resulted in reduction rates of disease between 93 and 96%, respectively.

Our study showed that the use of Algerian isolates of *Trichoderma sp.* following the three different treatments presented a good potential in controlling *in vivo* the potato late blight under controlled conditions. However, testing their efficiency in the field is to be considered before opting for a large scale use.

Key words: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum* L., biocontrôle, *Trichoderma sp.*, Antagonism

ملخص

المفعول المضاد في الوسط الحي لشعيرات الأدمة لنوع *Trichoderma sp.* اتجاه العفن الفطري *Phytophthora infestans* العامل المسبب لمرض الميلايو للبطاطا في الجزائر.

الاصابة الاصطناعية في الوسط الحي لنبات البطاطا "سيونتا" بالعزلات الجزائرية أ₁ و أ₂ للعفن الفطري *Phytophthora infestans* استندت على تطبيق الشعيرات الأدمة من نوع *Trichoderma sp.* وفقا لثلاث أنماط للمداوات : دمج الشعيرات الأدمة المضادة في التربة قبل الزراعة كنمط وقائي, استعمالهم لرش سطح الورقة قبل الإصابة الاصطناعية للوقاية و بعد الإصابة الاصطناعية للعلاج.

العلاجات قللوا كثيرا من درجة و حدة المرض مقارنة مع الشهود الايجابية. معدل الحد من هذا المرض المسجل لمختلف انماط المداوات المطبقة يتراوح ما بين 79.20 و 97.00% . الفعالية الأكثر أهمية نيلت بتطبيق النمطين الوقائيين : دمج الشعيرات الأدمة T₂ في التربة, رش T₃ اللذان سجلا معدل حد من المرض يتراوح ما بين 93 و 96%.

كشفت الدراسة أن استعمال الشعيرات الأدمة الجزائرية من نوع *Trichoderma sp.* بأنماط مختلفة من المداوات , أظهرت امكانية جيدة للسيطرة البيولوجية على مرض الميلايو البطاطا تحت ظروف بيوت الاستنبات. الأخذ بعين الاعتبار فعاليتهم في الميدان قبل تطبيقهم على نطاق واسع.

الكلمات المفتاحية : *Phytophthora infestans* ، السيطرة البيولوجية، *Trichoderma sp.* ، الفعالية المضادة، *Solanum tuberosum L.*

Liste des tableaux

Tableau 1. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en fonction des modes d'application des traitements.....	32
Tableau 2. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements, les souches de <i>P. infestans</i> et les isolats antagonistes de <i>Trichoderma sp</i>	32
Tableau 3. Analyse de la variance des pourcentages de réduction de la maladie en fonction des modes d'application des traitements.....	38
Tableau 4. 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 sp</i>	39
Tableau 5. Données sur la variété de pomme de terre testée.....	Annexes

Liste des figures

Figure 1. Cycle végétatif de la pomme de terre.....	5
Figure 2. Production mondiale de la pomme de terre.....	6
Figure 3. Principaux pays fournisseurs de l'Algérie en semences de pomme de terre durant la campagne 2007-2008.....	8
Figure 4. Symptômes sur les différents organes du plant de pomme de terre en plein champ.....	10
Figure 5. Aspect cultural d'un isolat Algérien de <i>Phytophthora infestans</i> sur milieu à base de petit pois.....	12
Figure 6. Morphologie (A) de sporange, (B) de zoospore et (C) d'oospore. Bar= 10 µm.....	12
Figure 7. Cycle de multiplication du mildiou.....	14
Figure 8. Les sections systématiques de <i>Trichoderma sp.</i> et quelques unes des espèces y appartenant.....	19
Figure 9. Aspect cultural et morphologie des isolats A1 et A2 de <i>P. infestans</i> G X125.....	24
Figure 10. Aspect cultural et morphologie des isolats de <i>Trichoderma sp</i> testés G X500.....	24
Figure 11. Semences pré-germées de la variété Spunta de la pomme de terre.....	27
Figure 12. Préparation des suspensions conidiennes de <i>Trichoderma sp</i>	26
Figure 13. Photo des pots au champ (A), au laboratoire (B), contenant les plants développés dans un sol traité à gauche et témoin à droite.....	27
Figure 14. Schéma du dispositif expérimental.....	30
Figure 15. Manifestation des symptômes chez le témoin positif (A), le témoin négatif (B) et les feuilles traitées (C).....	31
Figure 16. Analyse de la variance modèle GLM des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements.....	33
Figures 17. 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>	34

Figure 18. 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>	34
Figure 19. Classification hiérarchique (1) et Analyse en composante principale ACP (2) de la période d'apparition des symptômes en fonction des paramètres étudiés.....	35
Figure 20. Taux d'infection des plants en fonction des traitements et leurs modes d'application contre A ₁ et A ₂ par rapport aux témoins.....	36
Figure 21. Nombre de lésions en fonction des traitements et leurs modes d'application contre A ₁ et A ₂ par rapport aux témoins.....	37
Figure 22. Diamètre de lésions en fonction des traitements et leurs modes d'application contre A ₁ et A ₂ par rapport aux témoins.....	38
Figure 23. Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements.....	39
Figure 24. Analyse de la variance des taux de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements en fonction des souches de <i>Phytophthora infestans</i>	40
Figure 25. Analyse de la variance des taux de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements et les isolats antagonistes du genre <i>Trichoderma sp</i>	40
Figure 26. Classification hiérarchique (1) et Analyse en composante principale ACP (2) de la réduction de la maladie en fonction des paramètres étudiés.....	41

Liste des abréviations

%: Pourcentage

°C : Degret de Celsius

A.C.P: Analyse en composante principale

C.N.C.C: Centre national de certification des semences et des plantes.

D.D.L: Degrés de liberté

F.A.O : Food and Agricultural Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et de l'agriculture)

Fig: Figure

G.L.M: General Linear Model

N°: Numéro

I.N.P.V : Institut national de la protection des végétaux.

M.A.A.: Maitre-assistant classe A

M : Mètre

Mm: Millimètre

R.M: Taux de réduction de la maladie fongique causée par *Phytophthora infestans*

R : Répétitions

S. : *Solanum*

S.C.E : Somme des carrés des écarts

S.d : Sans date

T. : *Trichoderma*

T₁, T₂, T₃ Isolats de *Trichoderma sp.*

TM : Témoins; **TM p** : Témoins positifs; **TM n** : Témoins négatifs

TAB. : Tableau

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre I Revue bibliographique	
1. Généralité sur la pomme de terre.....	3
1.1 Origine et historique.....	3
1.2 Taxonomie et critères botaniques.....	3
1.3 Le cycle de développement	4
1.4 Exigence de la culture de la pomme de terre.....	5
a) Température.....	5
b) Eau.....	5
c) Sol.....	5
d) Besoins nutritionnels.....	6
1.5 Marché mondial et européen de la pomme de terre.....	6
1.6 Situation de la culture de pomme de terre en Algérie.....	6
1.7 Importation des semences de la pomme de terre et la gamme variétale multipliée.....	7
1.8 Principaux problèmes phytosanitaires de la pomme de terre.....	8
2. Le mildiou de la pomme de terre.....	9
2.1 Aperçu historique de la maladie.....	9
2.2 Symptomatologie.....	9
2.3 Agent phytopathogène.....	11
2.3.1 Position taxonomique.....	11
2.3.2 Aspect cultural.....	11
2.3.3 Description morphologique.....	12
2.3.4 Gamme d'hôte.....	13
2.3.5 Cycle biologique.....	13
a) Reproduction asexuée.....	13
b) Reproduction sexuée.....	13

2.3.6 Epidémiologie.....	14
2.4 Eléments de la lutte.....	15
2.4.1 Techniques prophylactiques.....	15
2.4.2 Lutte chimique.....	15
2.4.3 Lutte génétique.....	17
2.4.4 Lutte biologique.....	17
3. L'utilisation de Trichoderma dans la lutte biologique.....	18
3.1 Aspect cultural et morphologique.....	18
3.2 Taxonomie.....	18
3.3 Ecologie.....	20
3.4 Actions biologiques.....	20
3.4.1 L'antibiose.....	20
3.4.2 Parasitisme.....	21
3.4.3 Compétition.....	21
3.4.4 Stimulation de la croissance végétale	22
3.5 Modes d'application.....	22
Chapitre II Matériels et méthodes	
2. Introduction.....	23
2.1 Matériel biologique.....	23
2.1.1 Matériel végétal	23
2.1.2 Matériel fongique.....	23
2.1.2.1 Les souches phytopathogènes	23
2.1.2.2 Les isolats antagonistes	24
2.2 Méthodes.....	25
2.2.1 Mise en culture	25
2.2.1.1 Préparation du substrat et des pots	25

2.2.1.2 Préparation de matériel végétal	25
2.2.2 Evaluation de l'activité antagoniste.....	26
2.2.2.1 Préparation des traitements à base de <i>Trichoderma sp.</i>	26
2.2.2.2 Préparation des inoculas	26
2.2.2.3 Inoculation et les modalités de traitements	27
2.2.2.4 Lecture des résultats	28
2.2.2.4.1 La période d'apparition des symptômes.....	29
2.2.2.4.2 Le taux de plants malades	29
2.2.2.4.3 Le nombre de lésions développées par plant.....	29
2.2.2.4.4 Le diamètre de lésions	29
2.2.2.4.5 La Réduction de la maladie.....	29
2.2.3 Analyse statistique	30
Chapitre III Résultat et discussion	
3.1 Résultats et interprétations.....	31
3.1.1 Description des symptômes	31
3.1.2 Période d'apparition des symptômes	31
3.1.3 Incidence de la maladie.....	35
3.1.4 Le nombre de lésions	36
3.1.5 La taille des lésions	37
3.1.6 La réduction de la maladie.....	38
3.2 Discussion	41
Conclusion.....	46
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction

Introduction

Parmi les produits agricoles de base, la pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*), occupe une place prépondérante dans les régimes alimentaire de plus de 150 pays. La pomme de terre est cultivée sur une superficie de 18 millions d'hectares, et sa production mondiale est évaluée à environ 324 millions de tonnes en 2010 occupant ainsi le quatrième rang mondial des produits agricoles cultivés après le riz, le blé et le maïs (FAOStat, 2012).

En Algérie, son utilisation en alimentation humaine (fraîche ou après transformation industrielle), en plus de sa valeur énergétique élevée comparée à d'autres aliments, ont fait qu'elle soit le légume le plus recherché au niveau de nos marchés. Sa consommation est en constante d'augmentation et sa demande est de plus en plus forte, alors que la production nationale n'avoisine que 3.290.000 tonnes pour une superficie de 130.000 hectares, soit un rendement moyen de 253.077 kg/ha (FAOStat, 2012).

En culture, la pomme de terre fait l'objet d'attaques de plusieurs pathogènes et ravageurs notamment les champignons, les bactéries, les virus et les nématodes (Mulder et Turkensteen, 2005), pouvant soit occasionner des pertes sévères de rendement, soit détériorer la qualité des productions (Harmel et *al.*, 2008).

Le mildiou de la pomme de terre, causé par l'oomycète *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary., est considéré comme la maladie la plus importante qui attaque cette culture en abaissant sa qualité et sa quantité lorsque les conditions climatiques sont favorables (Fry et Goodwin, 1997; Ghorbani et *al.* 2004; Mizubuti et *al.*, 2007). Les baisses de rendements des cultures de pomme de terre dues au mildiou, varient de 20 à 50 % dans les pays développés et peuvent aller jusqu'à la perte totale de la récolte dans le cas d'attaques sévères de variétés sensibles (Zwankhuien, 1998). Alors que les dommages économiques sont estimés à 5 milliards de dollars/an dans le monde (Haverkort et *al.*, 2009; Judelson et Blanco, 2005).

En Algérie, la superficie affectée par cette maladie varie entre 1200 et 2000 ha. En effet, les plaines d'El Attaf, Arib, Aïn Sultan, Amra et Rouina réputées comme principales zones productrices de ces solanacées ont été dévastées par le mildiou durant la campagne 2005-2006 (Ahmed-Serir et Moussaoui, 2011).

Les systèmes de contrôle du mildiou de la pomme de terre, sont essentiellement basés sur l'application des pesticides (Cooke et *al.*, 2011). Cependant, l'apparition de nouvelles souches de *P. infestans* agressives montrant une virulence élevée et présentant une résistance à ces matières actives, crée de nouveaux défis pour lutter contre cette maladie.

La lutte biologique offre des potentialités de contrôle des maladies. Certains agents antagonistes et extraits de plantes sont capables de contrôler des maladies contre lesquelles aucun moyen de lutte chimique ou résistance de l'hôte n'existe, et avec moins de contraintes environnementales et humaines que les pesticides (Hanson et Howell, 2002). Ces dernières années, la lutte biologique par l'utilisation d'extraits de plantes ou d'agents antagonistes fongiques et bactériens a été envisagée contre le mildiou de la pomme de terre.

Ainsi, des travaux récents ont porté sur l'inhibition *In vitro* de *P.infestans* par *Trichoderma sp.* En Algérie, 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 de sporange. En outre, la non survie de l'agent pathogène confronté a confirmé des potentialités fongicides de ces isolats antagonistes par le renforcement de la résistance intrinsèque du matériel végétal vis-à-vis cette maladie redoutable (Saadoune, 2011).

Dans ce contexte, et vu l'importance économique de la culture économique de la pomme de terre, notre travail vise l'étude *in vivo* de l'effet antagoniste de quelques isolats algériens de *Trichoderma sp.* vis-à-vis *P. infestans* agent responsable de mildiou de la pomme de terre en Algérie.

Le présent travail repose essentiellement sur l'évaluation des paramètres suivants :

- La période d'apparition des symptômes,
- L'incidence de la maladie,
- La réduction de la maladie.

Chapitre I

Revue bibliographique

1. Généralités sur la pomme de terre

1.1 Origine et historique

La pomme de terre cultivée appartient à l'espèce *Solanum tuberosum* L.; elle dérive du type « tuberosum » cultivé traditionnellement en Amérique du sud dans l'île de Chiloe, au Chili et aussi du type « andigenum » introduit dans le sud de l'Espagne au XVI^e siècle (Messiaen, 1931). Le centre de variabilité maximum des espèces de pomme de terre se situe au cœur des Andes notamment le Pérou et la Bolivie (Rousselle et *al.*, 1996).

En Europe, elle a été introduite par les Espagnols en 1534, puis en France vers 1540. Les Anglais avaient de leur côté découvert le tubercule en 1586 (Rousselle et *al.*, 1996).

En Algérie, son introduction fût réalisée par les français à partir de 1856, et en 1898 elle était déjà un pays exportateur de pomme de terre (Starostins, 1977).

1.2 Taxonomie et critères botaniques

La pomme de terre *Solanum tuberosum* L. est une plante herbacée, vivace par ces tubercules (Rousselle et *al.*, 1996), de la famille des solanacées et du genre *Solanum*. Son système racinaire est fasciculé et très ramifié. Il a tendance à s'étendre superficiellement mais peut s'enfoncer jusqu'à 0,8 m en 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 riches en amidon sont comestibles (Reckhaus, 1997), 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).

1.3 Le cycle de développement

La pomme de terre est, dans les conditions les plus fréquentes, une espèce à multiplication végétative. Sa reproduction est alors assurée par un tubercule, organe de réserve riche en eau et en substances nutritives. Ce tubercule est, du point de vue anatomique, une tige modifiée, aux entre-nœuds courts et épaissis et dont les bourgeons vont donner naissance à des germes (Rousselle et *al.*, 1996).

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).

Le cycle annuel de la pomme de terre se déroule en trois phases principales (Fig. 1) :

- La première phase concerne la croissance des germes à la sortie du repos végétatif d'un tubercule. Ces germes se transforment en tiges feuillées et en rameaux dans la partie aérienne, et en stolons dans la partie souterraine.
- Quand les stolons s'arrêtent de s'allonger, le cycle rentre dans la phase de tubérisation. Il y a grossissement des ébauches de tubercules. La plante emmagasine dans ces tubercules des substances de réserve synthétisées au niveau du feuillage. A la sénescence de la plante (dessèchement total du système aérien), il y a arrêt et maturation des tubercules qui sont prêts à être récoltés.
- Après la récolte, les tubercules entrent dans un état de repos végétatif durant lequel leurs bourgeons sont incapables, même en conditions favorables, de croître pour germer. Quand cet état de dormance est levé, les tubercules vont germer : c'est la germination qui annonce le début d'un autre cycle végétatif.

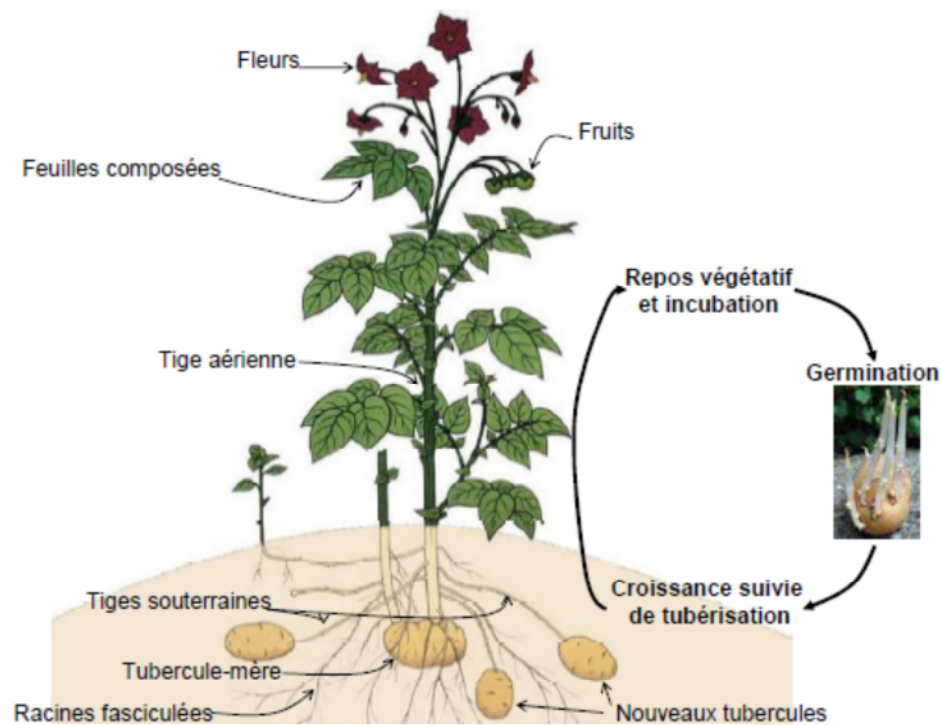


Fig 1. Cycle végétatif de la pomme de terre (D'après Soltner, 1998).

1.4 Exigences de la culture de pomme de terre

a) Température

La pomme de terre est une plante rustique de la zone tempérée qui préfère les températures modérées, sensible au gel, le feuillage est détruit à -2°C et les tubercules sont tués dans le sol à 4°C (Soltner, 1990). D'après Laumonier (1979) la tubérisation s'arrête à une température de 29°C ; ceci a été confirmé par Grison (1989) qui a constaté un arrêt de développement des racines à partir de 26°C .

b) Eau

Ses besoins en eau, sont faibles en début de végétation et sont très importants au moment de la croissance (Soltner, 1990). Entre la plantation et la levée de la pomme de terre, le sol autour du plant doit être humide sans être gorgé d'eau. Entre la levée et le démarrage de la tubérisation, la quantité d'eau apportée par irrigation ne doit pas dépasser 15 à 25 mm (Van Der Zaag, 1985).

c) Sol

Les sols assez profonds, frais, meubles et ne présentant pas d'excès d'humidité favorisent bien le développement de la pomme de terre (Laumonier, 1979).

d) Besoins nutritionnels

La pomme de terre se classe parmi les plantes très exigeantes en azote, phosphore et potassium. Une bonne alimentation en potassium améliore la qualité des tubercules et réduit leur sensibilité aux endommagements. L'acide phosphorique est un facteur de précocité qui favorise le développement racinaire. L'azote favorise dans un premier temps le développement du feuillage puis la formation et le grossissement des tubercules (Rousselle et *al.*, 1996).

1.5 Marché mondial et européen de la pomme de terre

La pomme de terre occupe le quatrième rang mondial des espèces cultivées après le riz, le blé et le maïs. La production mondiale de pomme de terre a augmenté de 20 % au cours des vingt dernières années (Barat et *al.*, 2012), pour atteindre 324 millions de tonnes en 2010 (FAO, 2012). Les pays et les régions les plus productrices sont présentées dans la figure 2. La production comprend les pommes de terre de consommation, de semences et d'industrie exprimée en tonnes.

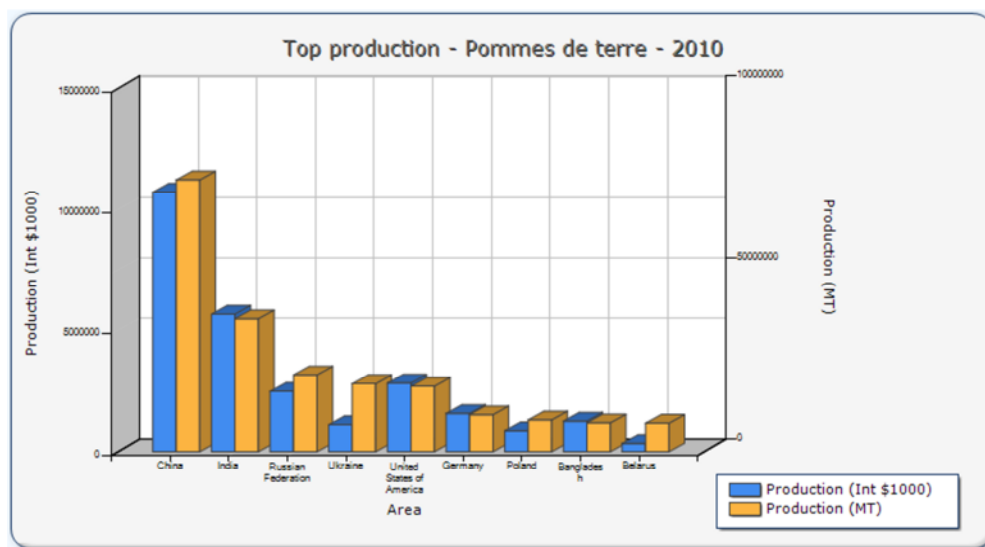


Fig 2. Production mondiale de la pomme de terre (FAO, 2012)

1.6 Situation de la culture de pomme de terre en Algérie

Au cours des trois dernières décennies, la pomme de terre a acquis une place de choix dans le modèle de consommation des Algériens aux côtés du blé et du lait.

L'Algérie est ainsi le deuxième producteur de pomme de terre dans le monde arabe après l'Égypte et le troisième producteur en Afrique. Cette augmentation de la production est due

essentiellement à la politique adoptée par l'état dans le cadre du Plan National de Développement Agricole (PNDA) (Kessaci, 2006).

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 wilayat où elle occupe plus d'un millier d'hectares, on pourra alors distinguer dans les zones du littoral et du sub-littoral, trois bassins de production (Chehat, 2008) :

- A l'Ouest, celui constitué par les wilayat de Tlemcen, Mostaganem et Chlef.
- Au Centre, celui regroupant les wilayat 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.

La plasticité culturelle de la pomme de terre lui permet de s'adapter à la diversité des agroécosystèmes algériens et la courte période de croissance et de développement de la plante permet la réalisation de trois récoltes par an.

En terme d'importance, les cultures de saison (plantation janvier-mars) sont dominantes et occupent la première place tant par les surfaces occupées (50 000 ha en moyenne) que par leur participation au total de la production, suivies par les cultures d'arrière saison (plantation juillet-août) qui occupent la seconde place avec près de 30 000 ha. La meilleure rentabilité économique qu'assure généralement la pomme de terre d'arrière saison est le principal moteur de la forte croissance des superficies plantées au cours de la dernière décennie. Enfin viennent les cultures de primeur (plantation octobre-novembre) qui n'occupent qu'une place mineure (moins de 5 000 hectares) dans l'ensemble des superficies et de la production (Chehat, 2008).

En revanche, le déficit en semences est chronique, puisque l'Algérie importe régulièrement de l'Europe environ 120 000 tonnes de semences de pomme de terre. Ces semences couvrent, en générale, une partie des besoins de la tranche primeur et la totalité des besoins des cultures de saison. Pour ce qui est de la tranche d'arrière-saison, les besoins en semences sont assurés entièrement par la production nationale (Amrar, 2005).

1.7 Importation des semences de pomme de terre et la gamme variétale multipliée

Durant la campagne agricole 2007-2008, l'Algérie a importé environ 96.238,45 tonnes de semences de pomme de terre. Cette quantité a été livrée par dix neuf pays fournisseurs parmi lesquels se détachent cinq pays membres de l'Union européenne (Fig. 3) ; les Pays Bas

constituent le premier fournisseur de semences de pomme de terre pour l'Algérie avec 71 % des achats, suivi de la France et le Danemark avec 11 %.

La variété « Spunta » représente 35 % des variétés importées, puis vient en deuxième position la variété « Kondor » avec 26 % des importations et enfin en troisième position la variété « Désirée » avec un taux de 22 %. Les principales catégories de semences de pomme de terre importées sont : la classe A avec 69 %, la classe E (Elite) avec 30 % et la classe SE (Super Elite) avec 1 % des importations.

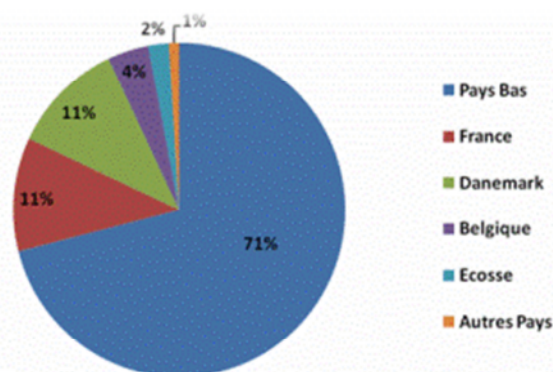


Fig 3. Principaux pays fournisseurs de l'Algérie en semences de pomme de terre durant la campagne 2007-2008 (Source : MADR, 2008).

En ce qui concerne la gamme variétale multipliée en Algérie, le nombre de variétés de pomme de terre multipliées reste très limité. En effet, sur les 122 variétés inscrites dans les listes provisoires parues dans le journal officiel n° 07 du 28 janvier 2009 (Anonyme, 2009), environ 20 variétés sont multipliées, dont huit variétés à peau rouge (Désirée, Kondor, Bartina, Pamela, Rubis, Rodeo, Amorosa et SarpoMira) et douze à peau blanche (Spunta, Atlas, Timate, Fabula, Arnova, Valor, Liseta, Burren, Safrane, Escort, Alaska, Ditta et Arinda) (CNCC, 2010).

1.8 Principaux problèmes phytosanitaires de la pomme de terre

Comme d'autres cultures vivrières, de nombreux bioagresseurs attaquent les cultures de pomme de terre et réduisent leurs rendements. On peut citer par exemple les maladies fongiques telles que le mildiou (*P. infestans*) ou le rhizotone brun (*Rhizoctonia solani*), les ravageurs tels que les insectes nuisibles (comme doryphores *Leptinotarsa decemlineata*) ou les nématodes (comme *Globodera*), les bactéries (comme *Streptomyces*), les mycoplasmes (comme Stolbur), les virus, et les viroïdes. De nombreuses adventices comme par exemple les chénopodes (comme *Chenopodium album*), la morelle (comme *S. nigrum*) ou encore le gaillet (comme *Galium aparine*) font également partie des ennemis de cette culture.

Tous ces ennemis peuvent perturber son cycle végétatif et entraîner des dégâts considérables sur les parties végétatives (aériennes et/ou souterraines). Ces dégâts peuvent ensuite entraîner des dommages (pertes quantitatives et/ou qualitatives de rendement).

Selon Messiaen (1981), la multiplication végétative par tubercule favorise beaucoup plus la propagation des agents pathogènes que la multiplication par graine et il n'est pas rare qu'un même tubercule héberge plusieurs agents pathogènes.

De plus, diverses maladies peuvent apparaître ou continuer à se développer sur les tubercules pendant la période de conservation au cours du stockage, entraînant ainsi une perte importante (Rousselle et *al.*, 1996).

Julis et Boulton (1984) dans Rousselle et *al.*, (1996) estiment par exemple qu'au niveau mondial, les maladies causent 32 % de pertes, les ravageurs 10 % et les mauvaises herbes 6 % de pertes.

2. Le mildiou de la pomme de terre

2.1 Aperçu historique de la maladie

Le mildiou, causé par *P. infestans*, est une maladie très redoutable de la pomme de terre et de la tomate non seulement dans les régions tempérées mais pratiquement dans toutes les zones de production de ces cultures (Fry et *al.*, 1992). 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). Le centre d'origine de ce fléau est probablement les montagnes du Mexique Centrale (Niederhausser, 1991 ; Christine et *al.*, 2000) où la diversité du parasite est maximale et où la reproduction sexuée du champignon a toujours existé (Tooley et *al.*, 1986). Ensuite, la maladie s'est manifestée en dehors du Mexique après migration en plusieurs temps (Spielmen et *al.*, 1991 ; Fry et *al.*, 1992 ; Goodwin et *al.*, 1993 ; Andrivon, 1996). En Afrique, la maladie a été détectée pour la première fois en 1941 (Sediqui et *al.*, 1997).

2.2 Symptomatologie :

Le mildiou est une maladie redoutable. Elle peut toucher tous les organes de la plante, les jeunes pousses, les feuilles, les pétioles, les bouquets terminaux, les tiges et les tubercules. Les attaques précoces induisent surtout une diminution de la photosynthèse, alors que les

attaques tardives conduisent à une baisse de la qualité des tubercules (Radtke et Rieckmann, 1991).

Sur la face supérieure des feuilles, on observe l'apparition de petites taches décolorées qui brunissent et sont entourées d'un halo jaune d'aspect huileux. Sur la face inférieure les fructifications de *P. infestans* (sporanges et sporangiophores) qui apparaissent sur le pourtour des taches et donnent un feutrage blanc caractéristique en conditions humides (Anonyme, 2008). Ces taches se développent souvent depuis l'extrémité ou depuis les bords de la feuille et s'agrandissent rapidement (Radtke et Rieckmann, 1991).

Les attaques sur les bouquets terminaux se manifestent par un brunissement et un léger recroquevillement des feuilles apicales. La multiplication du nombre de taches, leur extension puis leur dessèchement peut conduire rapidement à la destruction du feuillage (Anonyme, 2008).

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 pulvérulence blanche ou grisâtre, constituée des organes de multiplication du pathogène (Rousselle et *al.*, 1996).

Les tubercules atteints présentent des taches au contour mal défini, de couleur brune ou gris bleuâtre qui peuvent être un peu déprimées. Une coupe du tubercule montre des zones marbrées de couleur rouille en surface qui peuvent s'étendre vers le centre du tubercule. Ces tubercules pourrissent éventuellement dans le sol ou en stockage. Ils libèrent une odeur caractéristique et peuvent contaminer les tubercules sains qui seraient en contact (Fig. 4).



Les symptômes caractéristiques du mildiou A, B et E: sur les feuilles, D et F : au niveau des bouquets terminaux, C: sur tige, G et H: sur tubercules, I : sur plante adventice, J: au champ

Fig 4. Symptômes sur les différents organes du plant de pomme de terre en plein champ. (Photographies: D'après Schepers, 2007)

2.3 Agent phytopathogène

Montagne en 1845, a donné pour la première fois le nom de *Botrytis infestans* (Mont.) comme l'agent pathogène responsable de la maladie du mildiou, puis de Bary en 1863, l'a transféré au genre *Peronospora* d'où le nom de *Peronospora infestans* (Mont.) de Bary. Et ce n'est que vers 1876, que de Bary le transféra au genre *Phytophthora*, caractérisant ainsi l'agent pathogène qui cause la maladie du mildiou de la pomme de terre. Le terme *Phytophthora*, signifie « destruction des plantes » (Mulder et turkensteen, 2005).

2.3.1 Position taxonomique

Phytophthora infestans est un Oomycète de la famille des Pythiacées (Agrios, 2005). Les Oomycètes sont des organismes fongiformes ayant apparus vraisemblablement au précambrien, à partir des algues. Les Oomycètes se différencient des champignons vrais par l'absence de la chitine au niveau de la paroi, la nature du stérol de leur membrane plasmique (le fucostérol au lieu de l'ergostérol) ainsi que par la nature de leur substance de réserve (les mycolaminarine au lieu du glycogène) (Lepoivre, 2003).

Les Oomycètes sont des Straminopiles, et sont donc phylogénétiquement plus proches des algues brunes que des champignons supérieurs (Avila-Adame et *al.*, 2006 in Montarry, 2007). Le terme de mycose (ou de maladie fongique) est donc impropre, quoique largement employé, lorsqu'on l'applique au mildiou de la pomme de terre.

Selon Kirk et *al.* (2008), la classification de *P. infestans* (Mont.) de Bary. est comme suit :

Règne : Chromistan ou Straminopila

Phylum : Oomycota

Classe : Peronosporae

Ordre : Peronosporales

Famille : Peronosporaceae

Genre : *Phytophthora* de Bary.

2.3.2 Aspect cultural

P. infestans se comporte dans la nature comme un biotrophe obligatoire (Isaac, 1992), sans capacité de survie saprophyte (Andrivon, 1995), mais il peut tout de même être isolé et cultivé en milieu de culture semi naturel à base de petits pois (Fig. 5).

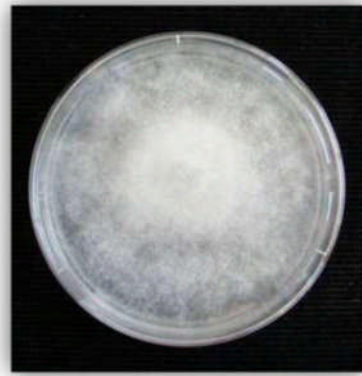


Fig 5. Aspect cultural d'un isolat Algérien de *Phytophthora infestans* sur milieu à base de petit pois (Ahmed-Serrir et Moussaoui, 2011).

2.3.3 Description morphologique

P. infestans produit des spores asexuées appelées sporanges (Figure 6(A)). Elles sont hyalines, citrifformes de 20-25 μm x 25-35 μm de taille (Fry et Goodwin, 1997), avec une papille apicale large. Les sporanges se forment sur des branches spécialisées appelées sporangiophores (Alexopoulos, 1962), qui peuvent germer directement dans l'eau à la surface des feuilles et produisent des zoospores mobiles biflagellées de forme ovale (Coffey et Gees, 1991) (Figure 6(B)).

Le sporangiophore ramifié, avec des gonflements au point d'attache des sporocystes distingue ce pathogène des autres espèces. *P. infestans* possède un mycélium coenocytique hyalin et à développement endogène (intra et intercellaire) via la formation d'haustoria et des noyaux diploïdes (Dudka et Burdyukova, 1996). Les oospores (Figure 6(C)) sont les seules spores sexuées que *P. infestans* produit. Ces derniers sont arrondis, à paroi épaisse et mesurent environ 30 μm de diamètre (Gallegly et Hong, 2008).



Fig 6. Morphologie (A) de sporange, (B) de zoospore et (C) d'oospore. Bar = 10 μm . D'après <http://www.esmisab.univ-brest.fr> (photographie : Noyd R K 2000. Carte de références mycologie. St Paul, Minnesota, APS Press)

2.3.4 Gamme d'hôtes

En plus de la pomme de terre et de la tomate, plusieurs Solanacées constituent des hôtes préférés de l'espèce *P. infestans*. En outre, plusieurs autres cultures appartenant à d'autres genres et espèces d'arbres tropicaux et arbustes se sont révélées des hôtes pour ce pathogène (Vartanian et Endo, 1985). Erwin et Ribeiro (1996) ont rapporté que d'après des inoculations artificielles au laboratoire ou des observations en plein champ, le pathogène *P. infestans* peut attaquer 89 espèces.

Christine et *al.* (1999) ont conclu que la large apparition récemment de nouveaux génotypes de *P. infestans*, a contribué à l'élargissement de la gamme hôtes de ce pathogène. Aux Etats Unis, plusieurs investigations ont confirmé que la Morelle (*S. sarachoides*), Petunia (*Petunia hybrida*) et l'aigre-doux (*S. bulcamara*) constituent aussi des hôtes pour ce pathogène (Laing, 1998).

2.3.5 Cycle biologique

Le cycle biologique de *P. infestans* comprend un cycle sexué et un cycle asexué (Fig. 7). 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).

a) Reproduction asexuée

Les sporocystes constituent l'unité de la reproduction asexuée. Ces organes se détachent facilement des sporangiophores (constitués par un duvet blanc autour des lésions), germent directement par émission d'un ou de plusieurs tubes germinatifs, soit indirectement par production des zoospores (Alexopoulos, 1996). Aux environ de 24°C, elles germent en formant un tube germinatif, tandis qu' autour de 12°C elles forment huit zoospores biciliés qui se déplacent par natation avant de s'enkyster puis de former un tube germinatif (Platt, 2008).

b) Reproduction sexué

La reproduction sexué de *P. infestans*, requiert la présence simultanée de souches des deux types sexuels complémentaires, A₁ et A₂ (Montary et *al.*, 2006).

P. infestans est hétérothallique, avec des anthéridies et des oogones produites sur un mycélium physiologiquement distinct (Judelson, 1996). Lorsque des mycélia de types sexuels différents se rencontrent, ils produisent des oogones et des anthéridies, qui par fusion produisent les oospores, avec une durée de vie en dehors du tissu hôte relativement longue

(quelques semaines à quelques années), assurant ainsi la reproduction sexuée. Les oospores forment un tube germinatif à l'extrémité duquel apparaît un sporange (Platt, 2008).

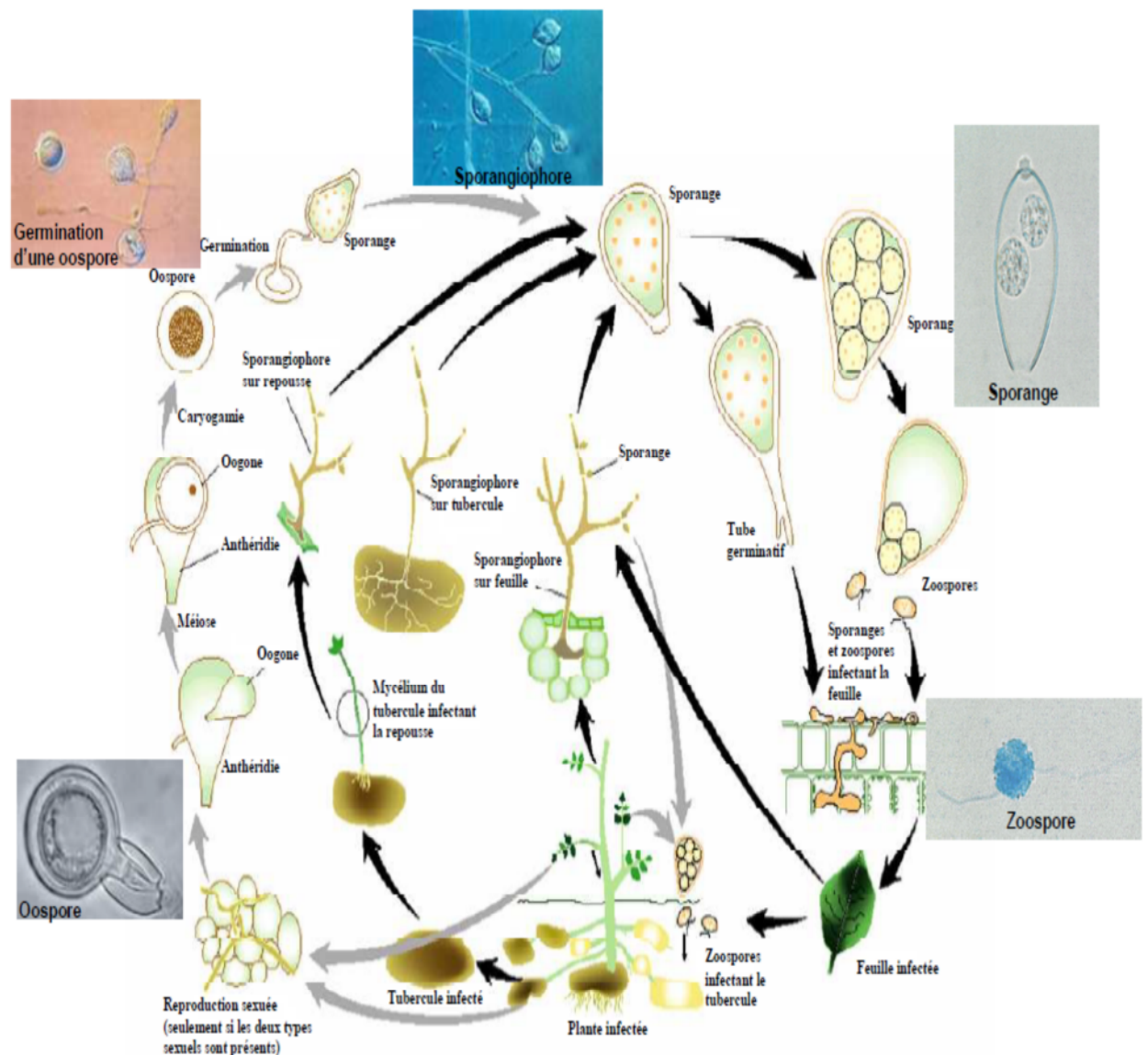


Fig 7. Cycle biologique de *Phytophthora infestans* d'après <http://www.eucablight.org> (Photographies : Corbière R., INRA - UMR BiO3P - Rennes -Le Rheu).

2.3.6 Epidémiologie

La courte durée du cycle de *P. infestans* (3 à 5 jours quand les conditions sont favorables), souvent amplifiée par une production importante de sporanges (résultant d'oospores ou de mycélium conservés dans les tubercules ou dans les débris végétaux restés au sol) dispersés par le vent ou la pluie fait que l'épidémie de mildiou peut être très rapide : elle est qualifiée d'explosive. La dispersion locale des sporanges (spores), forme qualifiée de foyer de mildiou à l'échelle de la parcelle, est favorisée par l'effet 'splashing' (eau libre, dissémination de bas en haut), qui permet ainsi un transport complémentaire des sporanges outre l'action du vent et

de la pesanteur. En fin de culture, les sporanges peuvent tomber directement sur le sol en absence de surface foliaire disponible, et peuvent être entraînés par ruissellement d'eau jusqu'aux tubercules assurant ainsi l'infection de ces derniers. Mais l'agent principal de dispersion de *Phytophthora infestans* est le vent (Hirst, 1953) assurant ainsi l'extension de la maladie au-delà de la parcelle. L'épidémie peut être ainsi qualifiée de régionale car les spores de contamination peuvent être transportées jusqu'à 11 km de distance des foyers primaires (Spijkerboer et al., 2002).

2.3 Eléments de la lutte

2.3.1 Techniques prophylactiques

Certaines pratiques culturales peuvent contribuer à réduire les sources d'inoculum primaire et/ou la propagation de la maladie. Ces mesures peuvent être récapitulées dans les points suivants :

- L'utilisation des semences de la pomme de terre saines et certifiées (Laing, 1998).
- L'élimination des déchets de triage et les repousses de pomme de terre de la culture précédente (Henfling, 1987; Laing, 1998). La méthode utilisée dépend des conditions climatiques locales. Cette élimination peut se faire par l'enfouissement, le compostage ou la congélation. Ces déchets peuvent aussi être utilisés comme source de pâturage pour les animaux. Néanmoins, l'incinération de ces déchets s'avère le moyen le plus efficace pour détruire ou diminuer la quantité d'inoculum formé durant la saison agricole précédente.
 - L'assainissement du matériel et des installations d'entreposage (Laing, 1998).
 - Le défanage précoce et total permet souvent d'éradiquer la contamination ultérieure des tubercules-fils (Kooistra et al., 1991; Duvauchelle et Andrivon., 1996).
 - L'utilisation d'une ou plusieurs cultures non hôtes de *P. infestans* dans le cycle de rotation limite la propagation de l'infection vers d'autres régions encore vierges (Paitier, 1980).
 - L'aération adéquate du magasin de stockage durant la période de conservation des tubercules limite l'infection de ces organes.
 - Eviter l'irrigation exagérée par aspersion car, elle peut créer des microclimats favorables à l'apparition des premiers foyers d'infection.

2.3.2 Lutte chimique

La lutte chimique, avec l'utilisation de fongicides de contact, pénétration ou synthétique, reste la principale mesure de lutte contre le mildiou de la pomme de terre (Gaucher et *al.*, 1998 dans Montary, 2007). L'utilisation des produits de contact, conduit à sélectionner des isolats résistants aux matières actives notamment celles appartenant principalement au groupe des phénylamides (métaalaxyl et son énantiomère méfénoxam, béalaxyl, oxafixyl) (Montary, 2007). Il est essentiel de n'utiliser ces produits qu'en préventif et en début de saison et de respecter les délais entre traitements (Andrivon et Lebreton, 1997).

Pour bien comprendre le phénomène de résistance des champignons aux fongicides, certaines définitions doivent être connues :

- **Résistance variétale :**

Chez un hôte sensible, *P. infestans* envahit les tissus et les cellules alors que chez le plant résistant, le champignon reste limité au niveau du site d'infection (Hohl et Suter, 1976; Cupyers et Hahlbrock, 1988). Cette résistance aux parasites génétiquement contrôlée peut être classée en deux types, la résistance spécifique et la résistance non spécifique.

- **La résistance spécifique (la résistance verticale)**

Dans ce cas, plusieurs études ont évoqué la notion d'interaction compatible et incompatible entre l'hôte et le pathogène (Pieterse et *al.*, 1993). Dans les interactions incompatibles (résistance/avirulence), une réaction d'hypersensibilité se manifeste dans les cellules épidermiques et mésophylliennes adjacentes à celles envahies par *P. infestans*. Ces dernières deviennent nécrotiques après 5 heures d'inoculation (Furuse et *al.*, 1999). Une activation locale et rapide des gènes codant pour plusieurs enzymes, accompagne ou suit la réaction d'hypersensibilité (Birch et *al.*, 1999). Dans les interactions compatibles (sensibilité/virulence), les cellules ne brunissent pas pendant les premières 12 à 24 h (Cupyers et Hahlbrock, 1988). Les mêmes gènes activés dans les interactions incompatibles sont souvent exprimés dans les interactions compatibles mais les différences résident dans le temps et le site d'expression (Pieterse et *al.*, 1993).

- **la résistance non spécifique ou horizontale**

Elle est sous le contrôle de plusieurs gènes (Umaerus, 1963). Ce type de résistance est généralement durable, plus stable et commercialement plus attractif, vu que la résistance verticale est rapidement surmontée par les nouvelles races du pathogène (Van Oïgen, 1996).

La source de la résistance durable des anciens cultivars est l'espèce *S. tuberosum sp. tuberosum* (Turkensteen, 1993).

Les espèces Mexicaines de *Solanum*, *S. demisium* et *S. stoloniferum* sont les plus importantes sources des deux types de résistance caractérisant les cultivars actuellement cultivés (Goodwin, 1996). D'autres espèces peuvent être aussi une source potentielle de la résistance horizontale, à savoir *S. andigenum* (Kiru, 2002), *S. simpliciform*, *S. polytrichon* et *S. verrucosum* (kolobaev et al., 2002).

2.3.3 La lutte génétique

De nombreux programmes ont été engagés, dont la sélection de variétés ayant une bonne valeur agronomique et une bonne résistance au mildiou (Montarry, 2007). Ces programmes se sont longtemps basés sur l'introduction de résistances spécifiques, à caractère mono génique.

Les allemands, en 1925, obtiennent une variété entièrement résistante au mildiou portant le gène de résistance dénommé R₁ (Lepoivre, 2003). Des gènes similaires ont également été identifiés chez d'autres espèces apparentées à *S. tuberosum*, telles *S. bulbocastanum* (Song et al., 2003 dans Montarry, 2007), *S. berthaultii* (Rauscher et al., 2006 dans Montarry, 2007) ou *S. phureja* (Sliwka et al., 2006 dans Montarry, 2007). Cependant, ces gènes, conférant à la plante une résistance totale, sont très rapidement contournés par les populations parasites et ne peuvent constituer à eux seuls une méthode de lutte durable. Les sélectionneurs s'orientent donc actuellement vers la recherche de résistances polygéniques (Montarry, 2007).

2.3.4 Lutte biologique :

La lutte biologique est une stratégie encourageante pour contrôler les maladies des cultures provenant du sol (Lo, C-T. et al., 1997). Divers microorganismes efficaces contre le *P. infestans* ont été cités comme les champignons du genre *Trichoderma* (Davet, 1996), et les bactéries tels que *Xenorhabdus bovienii* (Enterobacteriaceae), *Bacillus*, *Pseudomonas* et *Streptomyces*, pourraient contribuer à limiter l'infection du feuillage ou des tubercules de pomme de terre (Andrison, 1994; NG et Webster, 1997).

Dans une étude menée en Allemagne, Blaeser et Steiner (1998), ont étudié l'efficacité de 35 extraits de plants différents vis à vis du mildiou de tomate cultivée sous tunnel. 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 de 80 %. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les extraits de *Potentilla erecta* (90 %) et *Salvia officinalis* (83 %).

3. L'utilisation de *Trichoderma sp.* dans la lutte biologique

Le sol est un milieu riche en agents biologiques actifs (Biles et Hill, 1988). Dans les sols répressifs, les moisissures filamenteuses du genre *Trichoderma* représentent la majeure partie des communautés microbiennes (Duffy et al., 1996).

Depuis le travail de Weindling et Fawcette en 1934 sur l'utilisation des souches de *Trichoderma* pour le contrôle de *Rhizoctonia solani* agent de fonte de semis des citrus, l'isolement et l'identification de ces champignons antagonistes ont pris l'attention de plusieurs chercheurs. Aujourd'hui, il est évident que ces champignons facilement isolés et à développement volontaire, sont des agents intéressants pour une large échelle d'application (Ben Hamou et Chet, 1996).

3.1 Aspect cultural et morphologique

Les colonies de *Trichoderma sp.* sont largement touffues, caractérisées par une croissance rapide. Le thalle est bleu, vert ou jaune (Botton et al., 1985). Le mycélium est cloisonné. Les hyphes sont lisses et très ramifiés donnant des branches dressées formant des conidiophores (Bellahcene, 1990).

Ces derniers sont très ramifiés, suivant une structure pyramidale avec une forme générale conique. Les ramifications de ces conidiophores portent presque perpendiculairement des phialides en forme de quille ou de bouteille, qui portent à leurs extrémités des glomérules de conidies (Botton et al., 1985; Bellahcene, 1990; Besnard, 1992). Les structures de résistance sont représentées par les chlamydospores qui sont globuleuses et hyalines.

3.2 Taxonomie

La taxonomie moderne des champignons a aboli l'embranchement des Deuteromycotina, auquel appartenait le genre *Trichoderma*. La position taxonomique actuelle des *Trichoderma sp.* se présente comme suit (Bissett, 2004):

- Embranchement : *Amastigomycota et/ou Eumycètes*
- Sous embranchement : *Ascomycotina*
- Classe : *Sordariomycètes*
- Ordre : *Hypocréales*
- Famille : *Hypocraceae*
- Genre : *Trichoderma*

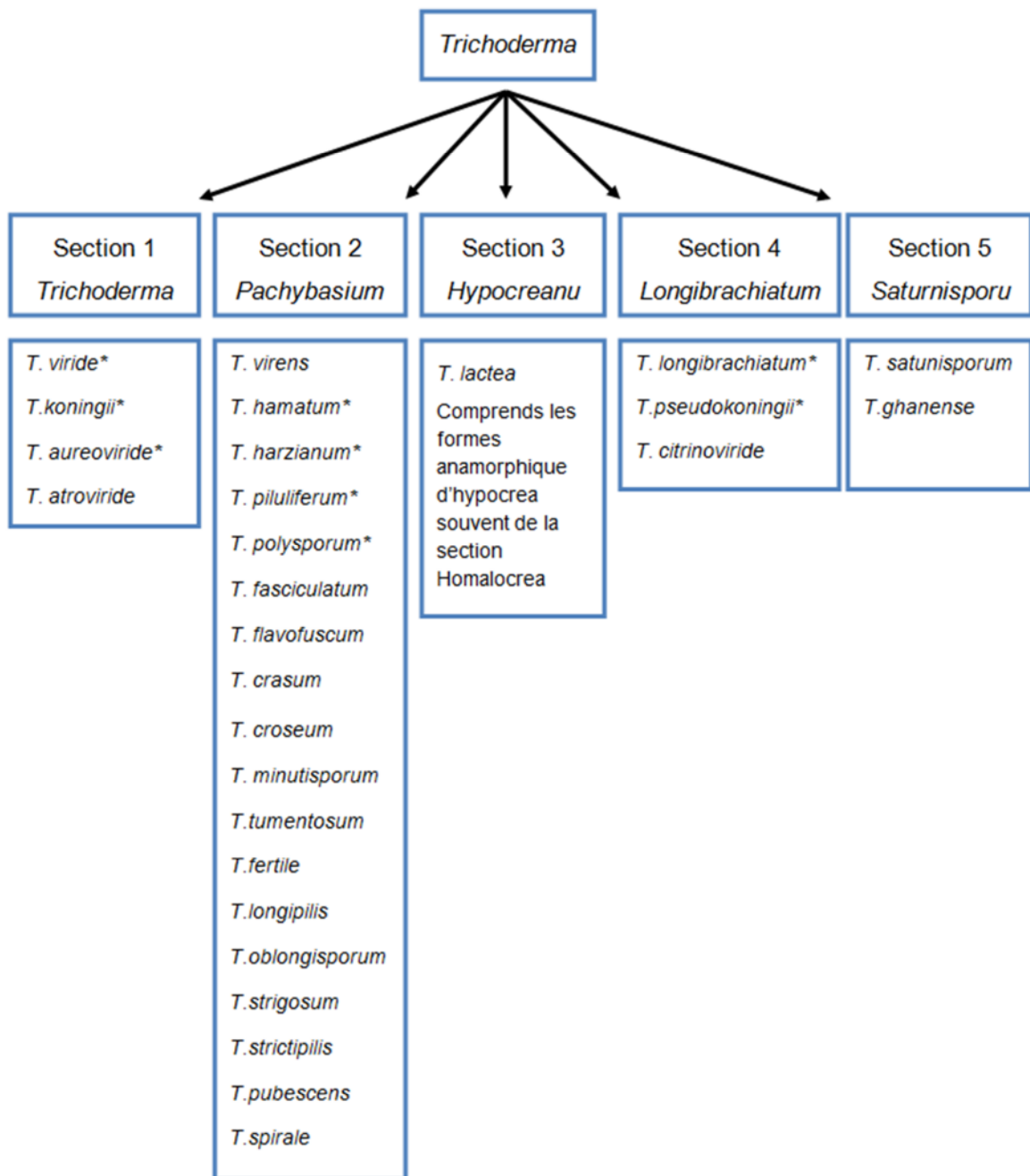


Fig 8. Les sections systématiques de *Trichoderma sp.* et quelques unes des espèces y appartenant, selon Bisset (1991 a et b). * Les espèces agrégées de Rifai (1969)

L'activité antagoniste et les propriétés physiques varient d'une espèce à une autre (Thrane et al., 2000). Cependant les membres de *T. harzianum* suivis par *T. viride* sont considérés comme les plus puissants (Ibrahim et al., 1996). Des isolats de certaines espèces de *Trichoderma* sont sélectionnés selon le pathogène qu'ils contrôlent et la culture qu'ils protègent, ainsi que les facteurs écologiques spécifiques à cette culture (Lo et al., 1998).

3.3 Ecologie

Les membres du genre *Trichoderma* sont largement répandus dans le monde, et se rencontrent presque dans tous les sols et autres milieux organiques (Papavizas, 1985). Ces champignons sont efficaces contre plusieurs phytopathogènes telluriques sous serre et au champ, et leur niveau d'antagonisme est très lié aux conditions environnementales (Thrane et al., 2000). Il est remarqué que ces agents préfèrent en générale les sols humides (Duffy et al., 1996). Selon Davet (1981), les populations diminuent si les conditions sèches du sol se maintiennent pour une longue période. En plus des facteurs climatiques, certains déterminants physiques et chimiques sont la cause de l'hétérogénéité d'assemblage des espèces de *Trichoderma*, tel que la composition organique et minérale, le pH qui est plus favorable pour leur activité est à 3.9 (Jeong et al., 1997), la température optimale de croissance qui est variable selon les espèces allant de 15 à 35°C (Domsch et al., 1980 dans Ait Yahia, 1996).

L'abondance de *Trichoderma* dans plusieurs sols permet de dire qu'ils peuvent posséder une capacité de survivre en plusieurs niches écologiques. Selon Papavizas (1985), *Trichoderma* peut survivre dans le sol sous forme de conidies et des hyphes. Les chlamydospores représentent aussi une grande importance dans leur survie dans le sol ou dans les fragments organiques. Il est important de signaler que selon Harrane et al. (1996), le niveau d'antagonisme est étroitement lié à la composition en chitine de la paroi cellulaire du champignon ciblé, et sa sensibilité aux substances produites par l'isolat de *Trichoderma*. Une colonisation inadéquate du système racinaire peut limiter l'efficacité de l'agent (Ahmed et Baker, 1987).

3.4 Actions biologiques

Plusieurs espèces de *Trichoderma* sp. peuvent coloniser des parties de la plante, comme le système racinaire, et les protègent entièrement des phytopathogènes telluriques (Harman et al., 1989). Selon Zhou et Reelder (1990), ces microorganismes agissent sur le pathogène par un processus multiface, soit par antagonisme, soit par l'intermédiaire de l'hôte, qui leur permet de modifier le développement des pathogènes et réduire les maladies qu'ils causent.

3.4.1 L'antibiose

L'antagonisme dans ce cas s'exerce par l'intermédiaire de substances toxiques produites par un organisme et libérées dans le milieu ambiant, et qui peuvent inhiber le développement d'un autre microorganisme (Alabouvette et Davet, 1985).

Trichoderma peut inhiber le pathogène par la production des antibiotiques (Kleifeld et Chet, 1992) qui peut être associée à la production des enzymes (Yededia et *al.*, 2000). Pour certains auteurs, tel que Baker (1968) cité par Mahiout (1993), le rôle de ce processus est négligeable en raison de l'inactivation des antibiotiques au niveau du sol, à cause de leurs absorption par les argiles et les particules de matière organique.

3.4.2 Parasitisme

Le mycoparasitisme est la forme de parasitisme qui existe entre les champignons (Dommergues et Mangenot, 1970). D'après Mangenot et Diem (1979) cette action peut être mécanique et/ou biochimique.

Trichoderma est très connu comme mycoparasite qui peut se développer à travers les hyphes de certains champignons (Harman, 1996). Selon Chet (1984) dans Ashour (1996), *Trichoderma* agit comme mycoparasitaire lorsqu'il détecte son hôte à une distance. Il s'attache aux hyphes de l'hôte et pénètre la paroi par sécrétion d'enzymes lytiques tel que les protéinases, les glucanases et les chitinases ce que lui permet de provoquer des trous au niveau des hyphes. Une fois endommagé le pathogène lui-même devient la proie d'autre microflore (Sharon et *al.*, 2001).

La production de ces enzymes par *Trichoderma* est un déterminant important de sa capacité antagoniste et essentiel en mycoparasitisme (Thran et *al.*, 2000). Selon Bolar et *al.* (2000), ces enzymes sont plus antifongiques que les enzymes chitinolytiques et glucanolytiques apportées par les plantes et par d'autres sources, actives pour plusieurs pathogènes, et donnent le pouvoir d'attaquer les structures de résistances (Elad et *al.*, 1984).

3.4.3 Compétition

La compétition peut être nutritive ou spatiale. La compétition nutritive entre microorganismes est probablement le mécanisme le plus général en lutte biologique (Thrane et *al.*, 2000). Elle se manifeste chaque fois où un élément indispensable à leur développement est présent en quantité limitée (Baker et Cook, 1974). Lorsqu'un micro-habitat est très riche en substrat nutritif, la compétition s'exerce pour l'espace. La colonisation des résidus de la culture, du sol et de la rhizosphère par *Trichoderma* sp. peut prolonger la période de la compétition nutritive pour le pathogène à son stade saprophytique (Duffy et *al.*, 1996).

3.4.4 Stimulation de la croissance végétale

Certains agents antagonistes tel que les *Trichoderma* peuvent favoriser directement, d'une part la croissance végétale ce qui permet d'améliorer le rendement, plus le contrôle direct de la maladie ; et stimuler d'autre part les mécanismes de défense chez la plante (Meera et *al.*, 1995).

Malgré son importance, l'interaction du champignon avec la plante n'est pas suffisamment étudiée. En plus de ces mécanismes, il faut également noter la production de gaz inhibiteurs par *Trichoderma* cultivés sur un milieu cellulosique. Le rôle biologique de tels inhibiteurs est de type fongistatique, à l'exception de l'inhibition de la formation des sclérotés (Olivier et German, sd.)

3.5 Modes d'application

Plusieurs méthodes d'application de ces champignons antagonistes ont été développées dans le but d'augmenter la prolifération et l'établissement de l'agent. En général les méthodes appliquées sont :

- Traitement du sol : les biofongicides *Trichoderma sp.* peuvent être additionnés au sol en suspension ou en inoculat solide.
- Traitement de semences : les *Trichoderma sp.* peuvent être utilisés pour traiter les tubercules de la pomme de terre avant la plantation initiale.
- Traitement aérien : plusieurs exemples réussis pour l'application de *Trichoderma* sur les parties aériennes des plantes étaient cités, non seulement comme un traitement curatif mais aussi préventif (Papavizas, 1985).

Chapitre II

Matériel et méthodes

2. Introduction

L'expérimentation s'est déroulée au niveau de la station régionale de la protection des végétaux (INPV) située dans la région de Boufarik wilaya de Blida. Elle consiste à évaluer l'effet antagoniste des isolats de *Trichoderma sp.* à l'égard de *P.infestans* ; l'agent responsable du mildiou de la pomme de terre grâce aux différents modes d'application de traitements. Pour cela, l'utilisation d'un matériel biologique est nécessaire pour répondre au protocole expérimental comportant plusieurs étapes.

2.1 Matériel biologique

Le matériel biologique est représenté par le matériel végétal, et un autre fongique.

2.1.1 Matériel végétal

Dans notre essai nous avons utilisé la variété de la pomme de terre « Spunta » largement cultivée en Algérie et caractérisée par la sensibilité de son feuillage au mildiou, fournie et certifiée par le CNCC d'El Harrach. Les caractéristiques agronomiques du cultivar sont rapportées dans l'annexe.

2.1.2 Matériel fongique

Pour notre étude, deux types sexuels du pathogène *P.infestans* ont été utilisés : A₁ et A₂ ; et trois isolats de *Trichoderma sp.* pour la lutte biologique T₁, T₂ et T₃. Ces derniers ont été choisis pour leur efficacité élevée par rapport à d'autres souches testés par Zanoune(2012).

2.1.2.1 Les souches phytopathogènes

Deux isolats fongiques de *Phytophthora infestans* purifiés et identifiés comme types sexuels A₁ et A₂ provenant respectivement de deux localités différentes de production de pomme de terre : Ain Defla et Bourkika (Wilaya de Tipaza) ont été sélectionnés à partir d'une collection d'isolats algériens (Figure 9). Ils ont été entretenus régulièrement par repiquage sur un milieu à base de petits pois (composition voir annexe) et incubés à 18°C pendant 20 jours (Hammi, 2003).

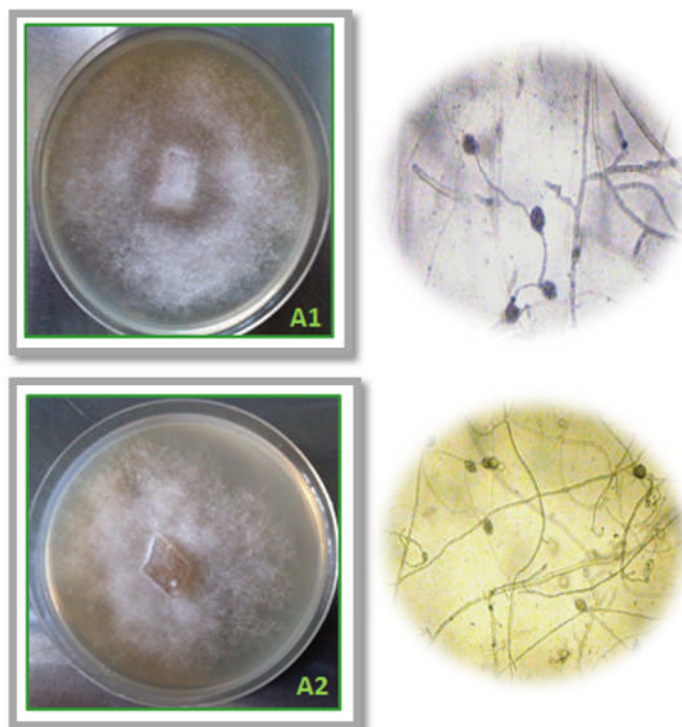


Fig 9 . Aspect cultural et morphologie des isolats A1 et A2 de *P. infestans* (G X125)

2.1.2.2 Les isolats antagonistes

Les isolats de l'antagoniste *Trichoderma sp.* T₁, T₂ et T₃ provenant respectivement de trois localités différentes: Tipaza, Abadla (wilaya de Bechar) et Staouali (wilaya d'Alger) ont été sélectionnés à partir d'une collection d'isolats algériens (Figure 10).

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).

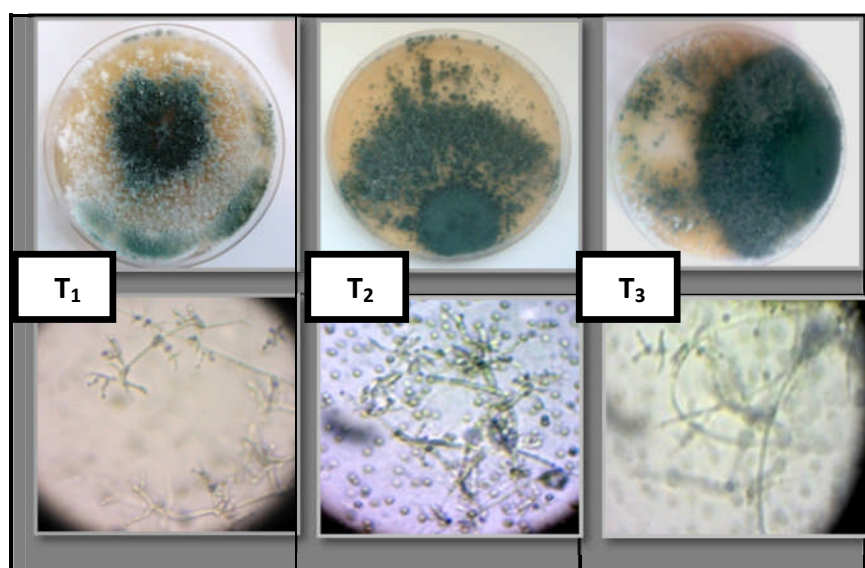


Fig 10. Aspect cultural et morphologie des isolats de *Trichoderma sp* testés G X500.

2.2 Méthodes

L'expérimentation a débuté le 03 Juin 2012, et a pris fin le 03 Septembre de la même année. Elle comporte les étapes suivantes :

- La mise en culture qui nécessite :
 - La préparation du substrat et des pots.
 - La préparation de matériel végétal.
- L'évaluation *in vivo* de l'activité antagoniste des isolats de *Trichoderma sp.*, qui consiste à :
 - La préparation des traitements à base de *Trichoderma sp.*
 - La préparation des suspensions sporangiales des deux isolats de *P.infestans*,
 - L'inoculation et modalités de traitements.
 - La lecture des résultats.
- Analyse statistique.

2.2.1 Mise en culture

Elle nécessite d'abord la préparation du substrat, des pots et du matériel végétal essentiels à la mise en culture de la pomme de terre.

2.2.1.1 Préparation du substrat et des pots

L'essai s'est effectué sur un terreau composé de 1/3 de tourbe commercialisée en sacs et, 2/3 de sol qui est désinfecté à l'aide d'un stérilisateur à la vapeur réglé à une température de 120°C sous pression de 2.2 bar pendant 18mn dont le but d'éliminer toute contamination par les phytopathogènes y compris les sclérotés. En deuxième étape, des pots de 30 cm de diamètre et 45 cm de profondeur sont remplis de substrat et, laissés en plein champ.

Les pots ainsi préparés ont été réservés pour le mode d'incorporation des antagonistes au sol, avant plantation.

2.2.1.2 Préparation de matériel végétal

Les tubercules prégermés ont été désinfectés à l'hypochlorite de Sodium à 2% pendant 10mn, puis rincés abondamment sous courant d'eau avant utilisation (Figure 11). Ces derniers ont été plantés à raison d'un tubercule par pot à une profondeur de 5 à 6 cm et arrosés d'une à trois fois par semaine selon l'âge physiologique des plants.



Fig 11. Semences pré-germées de la variété Spunta de la pomme de terre

2.2.2 Evaluation de l'activité antagoniste

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

Les trois isolats de *Trichoderma sp.* ont été cultivés sur milieu PDA et incubés à 28 °C pendant 15 jours afin de favoriser leur sporulation (Labdi,2008 ; Saadoune,2011) (Figure 11). Des suspensions conidiennes ont été préparées en raclant la surface des cultures immergées avec de l'eau distillée stérile à l'aide d'une pipette Pasteur boutonnée transformée en râteau en pliant l'extrémité à la flamme du bec Bunsen (Figure 12). Les taux de sporulation ont été déterminés pour chaque suspension d'isolat concentrée, à l'aide de la cellule de Malassez sous microscope optique. Ainsi, les concentrations ont été ajustées à 10^6 - 10^7 spores/ ml par de l'eau distillée stérile (Caron et *al.*,2002).



Fig 12. Préparation des suspensions conidiennes de *Trichoderma sp.*

2.2.2.2 Préparation des inoculas

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 racler aseptiquement à l'aide

d'une pipette Pasteur boutonnée transformée en râteau en pliant l'extrémité à la flamme du bec Bunsen. 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).

2.2.2.3 Inoculation et les modalités de traitements

Les plants âgés de 45 jours (Figure 14 (A) et (C)), prétraités par les modes préventifs et ceux sujets au mode curatif, sont humidifiés avant inoculation. L'inoculation est effectuée le matin et, consiste à la pulvérisation des suspensions sporangiales de l'ordre de 10^5 sporanges/ml, et ceci pour chaque isolats de *P.infestans* (Figure 13 (B)). Les plants ainsi inoculés sont placés dans deux laboratoires séparés bien aérés à une température contrôlée à 20°C et une photopériode de 12h : l'un des laboratoires est réservé pour traiter la souche A₁, et l'autre pour traiter la souche A₂ de l'inoculum.

Trois modes d'application du traitement ont été retenus lors de notre expérimentation :

- Traitement préventif par incorporation dans le sol les suspensions conidiennes de *Trichoderma* de l'ordre de 10^6 spores/ml à raison de 250 ml par pot. L'ensemble des pots traités sont laissés au repos pendant deux semaines avant plantation (Caron *et al.*, 2002).
- Traitement préventif par pulvérisation de la suspension conidienne de l'antagoniste d'une concentration de 10^7 spores/ml sur la surface foliaire des plants de la pomme de terre, 24 h avant l'inoculation par le pathogène.
- Traitement curatif par pulvérisation de la suspension conidienne de l'antagoniste d'une concentration de 10^7 spores/ml sur la surface foliaire des plants de la pomme de terre, 24 h après l'inoculation du pathogène.



Fig 13. Photo des pots au champ (A), au laboratoire (B), contenant les plants développés dans un sol traité à gauche et témoin à droite (C).

L'application des trois isolats de *Trichoderma sp.* (T₁, T₂ et T₃) sur les deux souches de *P.infestans* A₁ et A₂ selon les trois modes de traitements décrites précédemment est représentée par un dispositif expérimental (Figure 14) réalisé par 63 pots répartis en trois blocs réservés aux différents modes d'application du traitement à raison de trois répétitions pour chacun selon l'isolat de *Trichoderma sp.* et le type sexuel de *P.infestans*, en présence des témoins qui sont eux même répétés trois fois :

- Témoin négatif, dont la plantation est effectuée dans un sol non traité (plan sain).
- Témoin positif dont l'infection par *P.infestans* de type sexuel A₁ ou A₂ est effectuée par pulvérisation sur les plantes développées dans un sol non traité.

L'ensemble des blocs est sous la température ambiante et une photopériode de 12h.

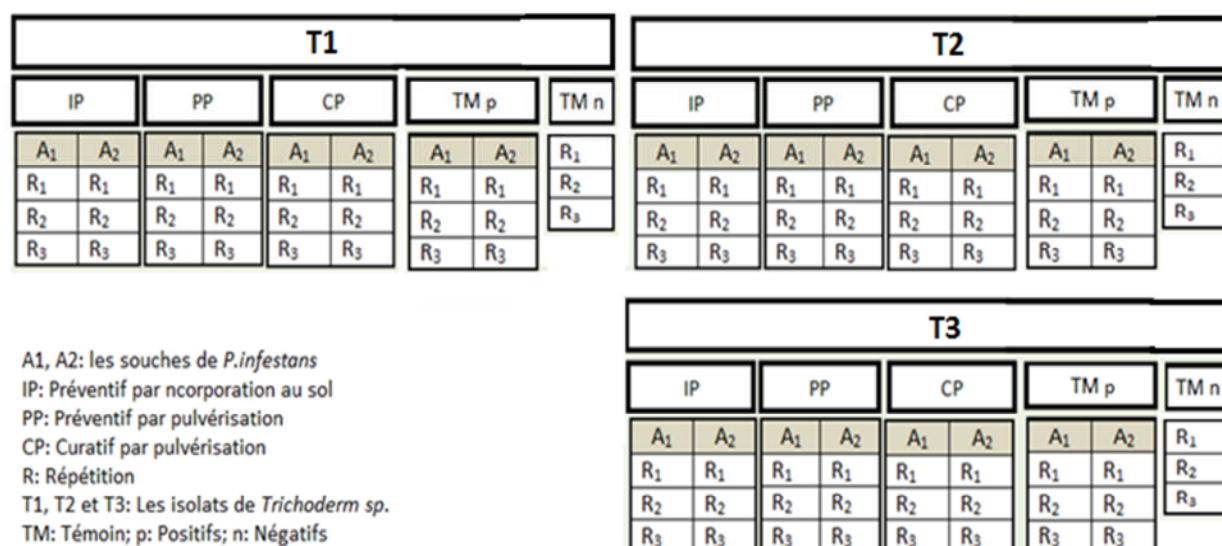


Fig 14. Schéma du dispositif expérimental

2.2.2.4 Lecture des résultats

L'évaluation du pouvoir antagoniste des isolats de *Trichoderma sp.* vis-à-vis de *P.infestans* est faite au bout de sept jours et, repose sur la symptomatologie et la détermination des paramètres suivants:

- La période d'apparition de symptômes,
- Le taux de plants malades exprimant l'incidence de la maladie,
- Le nombre de lésions développées par plant,
- Le diamètre de lésions
- La réduction de la maladie suite aux traitements des plants.

2.2.2.4.1 La période d'apparition des symptômes

Correspond au temps nécessaire pour l'apparition de l'infection induite par le phytopathogène sur le tissu foliaire inoculé (Hammi, 2003).

2.2.2.4.2 Le taux de plants malades

Il correspond au nombre de plants infectés par *P.infestans* et qui est exprimé en pourcentages (%).

2.2.2.4.3 Le nombre de lésions développées par plant

L'observation visuelle permet d'évaluer le nombre de lésions sur les folioles de chaque plant.

2.2.2.4.4 Le diamètre de lésions

Les bordures de lésions développées sont transférées sur un papier transparent et le diamètre marqué est mesurée par un pied à coulisse.

2.2.2.4.5 La Réduction de la maladie

la sévérité de la maladie est déterminée à partir du pourcentage de surface foliaire malade à l'aide de l'échelle de notation de la société mycologique britannique (Anon, 1947) :

Echelle	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Pourcentage de maladie	Pas de notation	0.1	1	5	25	50	75	95	100

La multiplication du nombre de feuilles infectées par la sévérité de la maladie (note attribuée à la surface foliaire infectée) donne le coefficient d'infection CI. Le pourcentage de réduction de la maladie (*RM*) est déterminé par la formule suivante :

$$RM (\%) = (CI_P - CI_{PA}) / CI_P \times 100$$

Où :

CI_P : coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène.

CI_{PA} : Coefficient d'infection des plantes inoculées par le pathogène et traitées par l'antagoniste.

2.2.3 Analyse statistique

Afin de vérifier l'éventuelle efficacité des traitements à base de *Trichoderma* vis-à-vis les deux types sexuels de *P.infestans* testés et comparer les différents modes d'application des traitements utilisés selon 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 isolats antagonistes, leurs modes d'application, les souches pathogènes ont été 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).

L'hypothèse de l'efficacité des antagonistes de *Trichoderma* sp. à l'égard de *P.infestans* par rapport aux paramètres étudiés a été vérifiée par le modèle de la distance euclidienne aux facteurs contrôlés par le logiciel PAST (Paleontological Statistics, ver.1.81b) (Hammer et al., 2001).

Les résultats obtenus de l'incidence de la maladie et le nombre de lésions en fonction des traitements et leurs modes d'application contre *P.infestans*, sont représentés sous forme de graphes à l'aide du logiciel EXCEL.

Chapitre III

Résultats et discussion

3.1 Résultats et interprétations

3.1.1 Description des symptômes

Les symptômes ont affecté les feuilles. Ils sont représentés par des tâches décolorées d'aspect huileux sur la face supérieure et au niveau des apex puis, se sont étalées sur tout le limbe conduisant à leur brunissement et à leur dessèchement (Fig 15). Un duvet blanchâtre peut apparaître parfois, à la face inférieure de quelques feuilles.



Fig 15. Symptômes foliaires du témoin positif (A), du témoin négatif (B) et des plants traités (C).

3.1.2 Période d'apparition des symptômes

La détermination de la période d'apparition des symptômes pour tous les modes de traitements a été mise en évidence selon les isolats antagonistes et les deux types sexuels de *Phytophthora infestans*, en comparaison avec les témoins.

L'analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes a montré une différence non significative entre les modes d'application des traitements ($P=0.454$) (Tableau 1) mais, une différence hautement significative a été mise en évidence entre les isolats de l'antagoniste *Trichoderma sp* selon les trois modes d'application de traitements : curatif par

pulvérisation (P=0.001), préventif par pulvérisation (P= 0.001) et préventif par incorporation au sol (P= 0.002), (Tableau 2).

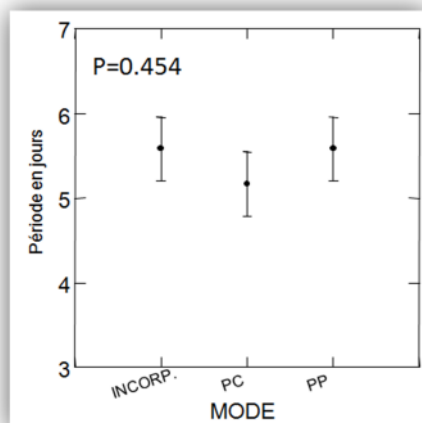
Tableau 1. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en fonction des modes d'application de traitements

Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F -ratio	P
Mode d'application	2.778	2	1.389	0.800	0.454

Tableau 2. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application de traitements, les souches de *P.infestans* et les isolats antagonistes de *Trichoderma sp.*

	Facteurs	Mode d'application	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F -ratio	P
Période d'apparition des symptômes	<i>P. infestans</i>	<i>Pulvérisation</i>	1.042	1	1.042	0.610	0.445
		<i>Curatif</i>	0.042	1	0.042	0.023	0.081
		<i>Incorporation au sol</i>	2.042	1	2.042	1.195	0.288
	<i>Trichoderma sp</i>	<i>Pulvérisation</i>	43.458	3	14.486	7.988	0.001
		<i>Curatif</i>	41.458	3	13.819	8.089	0.001
		<i>Incorporation sol</i>	38.458	3	12.819	7.504	0.002

En modèle GLM, la période d'apparition des symptômes selon les modes d'application de traitements est comprise entre 5 et 6 jours. La plus courte période d'apparition de symptômes correspond au mode curatif par pulvérisation (5jours). Ainsi, le classement des modes d'application des antagonistes a été établi dans l'ordre décroissant suivant: les deux modes de traitements préventifs par incorporation au sol (INCORP) et par pulvérisation (PP) (6 jours) et, le mode de traitement curatif par pulvérisation (PC) (5 jours) (Fig 16).



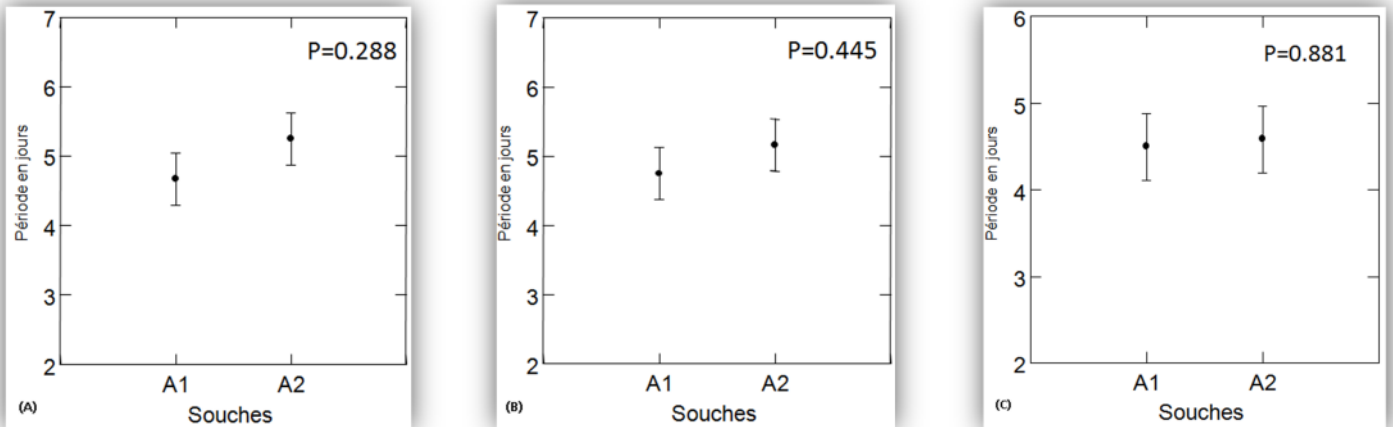
- INCORP : Incorporation
- PC : Pulvérisation curative
- PP : Pulvérisation préventive

Fig 16. Analyse de la variance en modèle GLM des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements

D'autre part, les deux souches de *P.infestans* ont montré une variabilité dans la période d'apparition des symptômes selon les modes de traitements. A_1 extériorise les symptômes plus rapidement que A_2 pour l'ensemble des modes de traitements, bien que la différence entre les deux souches n'est pas significative.

Numériquement, la période d'apparition des symptômes des phytopathogènes A_1 et A_2 selon les modes de traitements est représentée dans le tableau :

Souches <i>P.infestans</i> \ Modes de traitement	Préventif par incorporation au sol	Préventif par pulvérisation	Curatif par pulvérisation
A_1	4.8 jours	4.7 jours	4.3 jours
A_2	5.3 jours	5.2 jours	4.4 jours



- (A) : mode d'application préventif par incorporation au sol
- (B) : mode d'application préventif par pulvérisation
- (C) : mode d'application curatif par pulvérisation

Fig 17. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM , selon les modes d'application des antagonistes et selon les souches de *Phytophthora infestans*.

Les trois isolats de *Trichoderma sp.* ont montré une variabilité dans l'expression des symptômes et ils ont augmenté . L'antagoniste T₂ a marqué la plus longue période d'apparition des symptômes pour les trois modes de traitements (entre 6 et 6.3 jours), tandis que T₁ a marqué la plus courte période d'apparition des symptômes pour le mode préventif par pulvérisation (4.9 jours) et T₃ pour le mode curatif (3.8 jours). Pour les autres traitements, cette période a été comprise entre 5.2 et 5.8 jours (Fig 18).

Cependant, la période d'apparition des symptômes a été plus courte pour les témoins positifs (entre 2.7 et 2.8 jours).

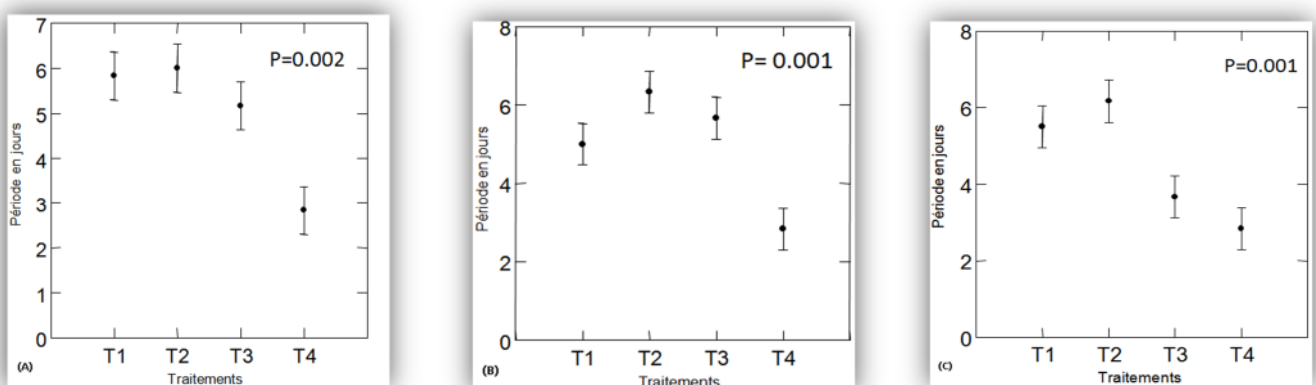


Fig 18. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon les modes d'application des traitements en fonction des isolats antagonistes de *Trichoderma sp.*

Une classification hiérarchique et une analyse en composante principale de la période d'apparition des symptômes ont été déterminées pour les trois isolats de *Trichoderma sp.*, les deux types sexuels de *P. infestans* et les trois modes de traitements. En effet, la classification hiérarchique basée sur le calcul des distances euclidiennes et sur la base d'une similarité de (-1.2) a montré la présence de deux groupes, chaque groupe renfermant les périodes d'apparition des symptômes en fonction des isolats antagonistes, ceux de *P. infestans* et les modes d'application des traitements (Fig 19 (1)). Ainsi, l'analyse en composante principale a révélé que les deux isolats de *P. infestans* étaient corrélés positivement avec le groupe 1 où Les périodes d'apparition des symptômes étaient très voisines entre elles pour les isolats A₁ et A₂ de *P. infestans* concernant le mode d'application par incorporation au sol, et par pulvérisation préventive des antagonistes T₁, T₂ et T₃, et par pulvérisation curative de T₁ et T₂ (Fig 19 (2)).

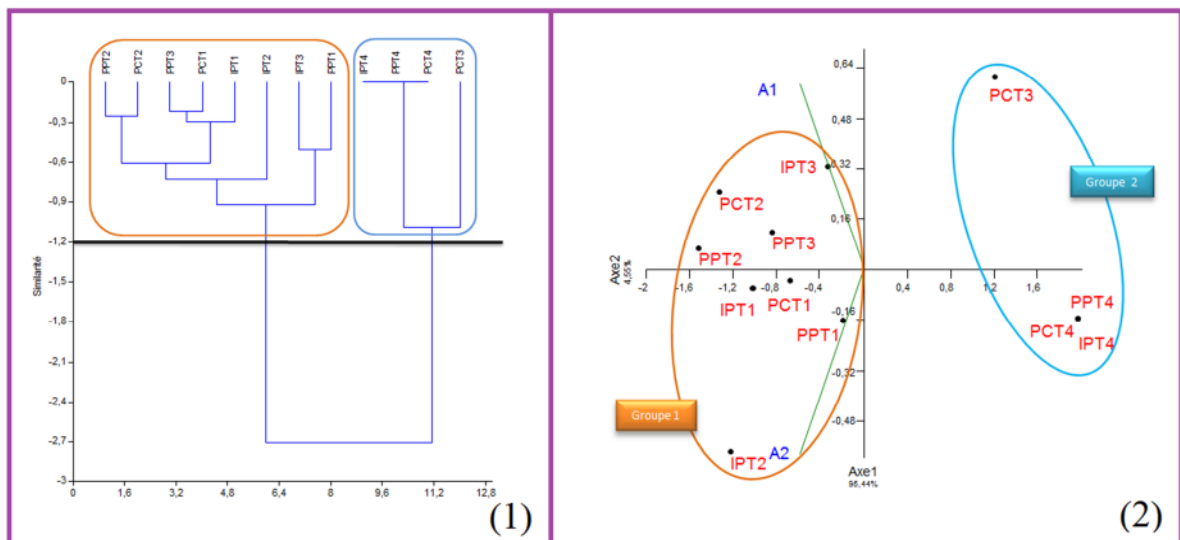
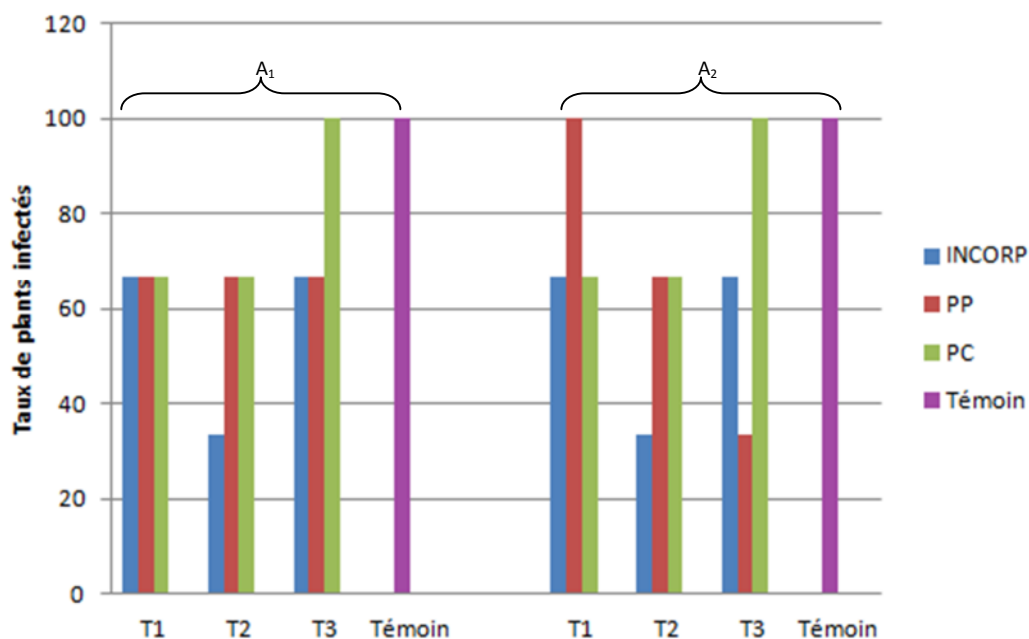


Fig 19. Classification hiérarchique (1) et Analyse en composante principale ACP (2) de la période d'apparition des symptômes en fonction des paramètres étudiés.

3.1.3 Incidence de la maladie

Les taux d'infection de plants variaient entre 33.33 à 100% selon les deux types sexuels A₁ et A₂ de *P. infestans*, les isolats antagonistes de *Trichoderma sp.* et leurs modes d'application. Ainsi, T₂ par le mode d'incorporation au sol a pu réduire le pouvoir infectieux de A₁ et de A₂ à 33.3% et les antagonistes T₂ et T₃ ont ensemble réduit celui de A₂ par les deux modes d'application préventifs (Fig 20).



- INCORP : Incorporation
- PC : Pulvérisation curative
- PP : Pulvérisation préventive

Fig 20. Taux d'infection des plants en fonction des isolats de *Trichoderma*, ceux de *P.infestans* A₁ et A₂ et leurs modes d'application en comparaison avec les témoins.

3.1.4 Le nombre de lésions

Selon les modes d'application de traitements, l'ensemble des isolats antagonistes a révélé une importante réduction du nombre de lésions comparés aux témoins. Ainsi, A₁ a montré le plus faible nombre de tâches nécrotiques sous l'action de T₂ (1 lésions) selon le mode d'incorporation au sol, alors qu'il a été enregistré entre 3 et 4 lésions par les trois isolats sur A₂. Le nombre développé sur les témoins positifs était plus important pour A₂ (24) que A₁ (18) (Fig 21).

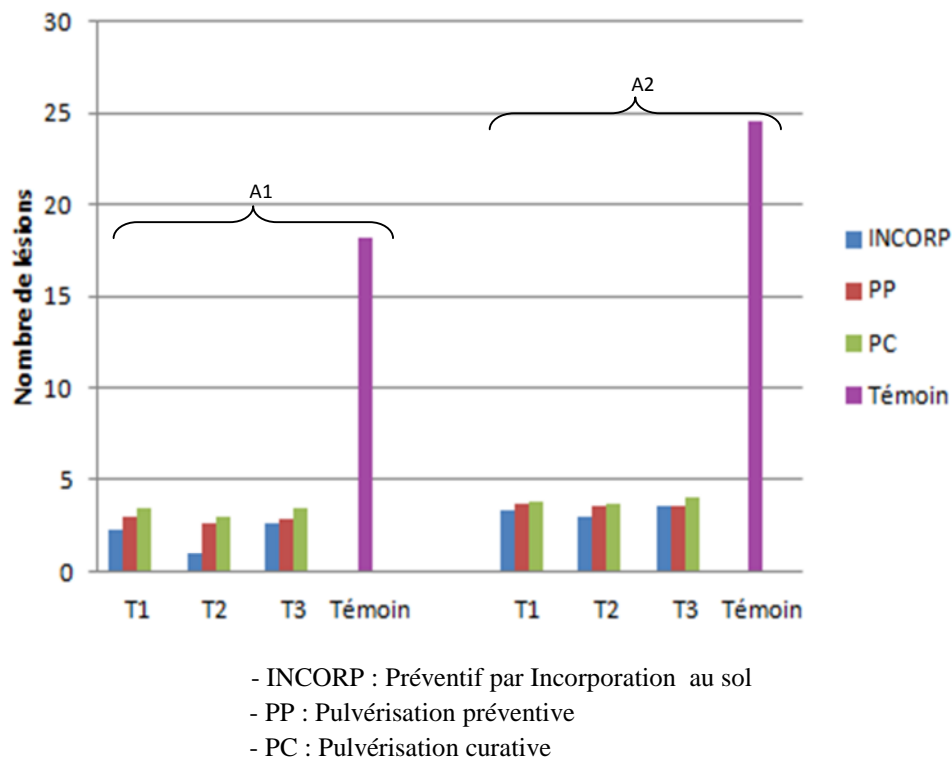


Fig 21. Nombre de lésions en fonction des isolats de *Trichoderma* et leurs modes d'application, les isolats de *P.infestans* A₁ et A₂ par rapport aux témoins.

3.1.5 La taille des lésions

Les dimensions des lésions développées ont confirmé l'effet éliciteur des isolats de *Trichoderma sp.* vis-à-vis du pouvoir phytopathogène de *P.infestans*. En effet, les lésions n'étaient pas très étalées sur les témoins positifs. Cependant, la souche A₂ apparaissait plus agressive (24mm) par rapport à A₁ (21mm).

De même, l'ensemble des isolats antagonistes ont affirmé leur pouvoir sur la réduction de la taille des lésions quelque soit le mode d'application de traitements. Aussi, le meilleur antagoniste vis-à-vis de A₁ était représenté par T₂ selon le mode d'incorporation au sol (8 mm) et T₃ selon le mode préventif par pulvérisation (9mm). Parallèlement, ces résultats enregistrés pour A₁ étaient confirmés pour A₂ mais, la réduction de la taille des lésions développées était moins importante (entre 13 et 19mm) (Fig 22).

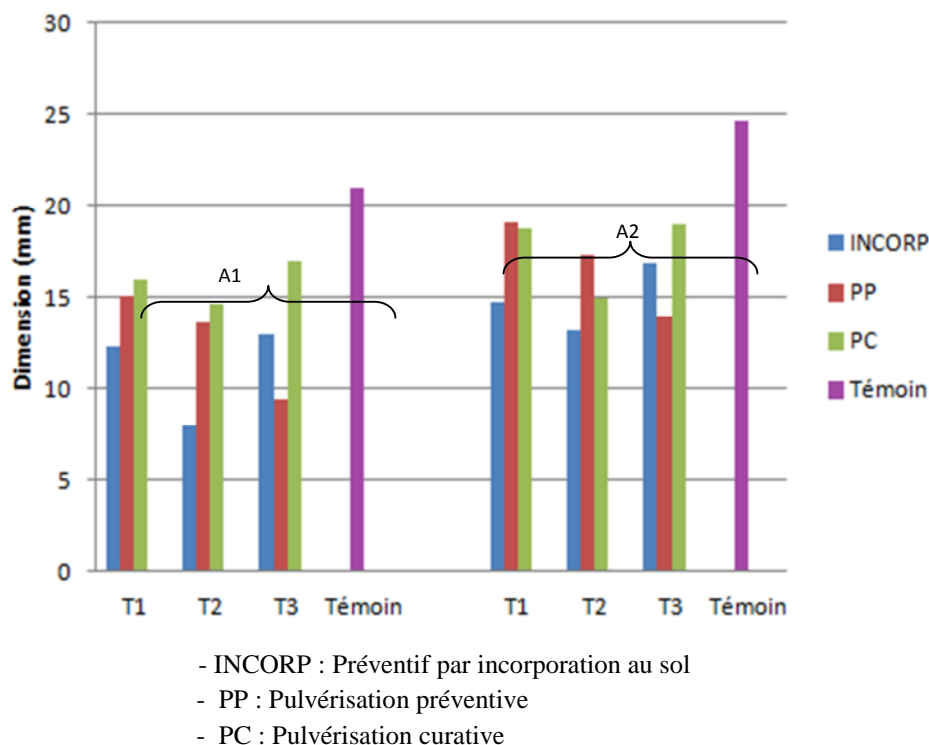


Fig 22. Diamètre de lésions en fonction des isolats de *Trichoderma* et leurs modes d'application, des isolats de *P.infestans* A₁ et A₂, et des témoins.

3.1.6 La réduction de la maladie

L'analyse de la variance des taux de réduction de la maladie a montré une différence non significative entre les modes d'application des traitements (Tableau 3), aussi bien entre les isolats antagonistes de *Trichoderma sp.* et les isolats phytopathogènes de *P.infestans* (Tableau 4).

Tableau 3. 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
Modes d'application	1 075.939	2	537.970	2.186	0.123

Tableau 4. 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.*

Période d'apparition des symptômes	Facteurs	Modes d'application	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F -ratio	P	
	<i>P. infestans</i>		<i>Pulvérisation</i>	208.645	1	208.645	0.303	0.591
			<i>Curatif</i>	257.766	1	257.766	1.469	0.246
			<i>Incorporation au sol</i>	57.534	1	57.534	0.508	0.488
	<i>Trichoderma sp</i>		<i>Pulvérisation</i>	1 784.388	2	892.194	5.084	0.022
			<i>Curatif</i>	2724.301	2	1 362.151	1.978	0.175
			<i>Incorporation sol</i>	401.483	2	200.742	1.772	0.206

En modèle GLM, la réduction de la maladie n'a pas révélé une grande variabilité entre les trois modes d'application de traitements. Elle a été plus importante pour le mode préventif par incorporation au sol (INCORP) (90%) et par degré moindre pour le mode préventif par pulvérisation (PP) (84.6%) et le mode curatif par pulvérisation (PC) (79.2%) (Fig 23).

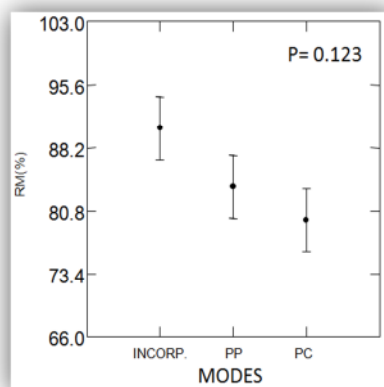


Fig 23. Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements.

Bien que les différences n'étaient pas significatives, les souches A₁ et A₂ de *P. infestans* ont montré un comportement légèrement variable vis-à-vis des modes d'application de traitements. Dans l'ensemble, elles ont été inhibées par les isolats antagonistes où A₂ s'est montrée plus sensible à leur effet selon le mode préventif avec 80% et le mode curatif par pulvérisation avec 85% et, A₁ selon le mode par incorporation au sol avec 93% (Fig 24).

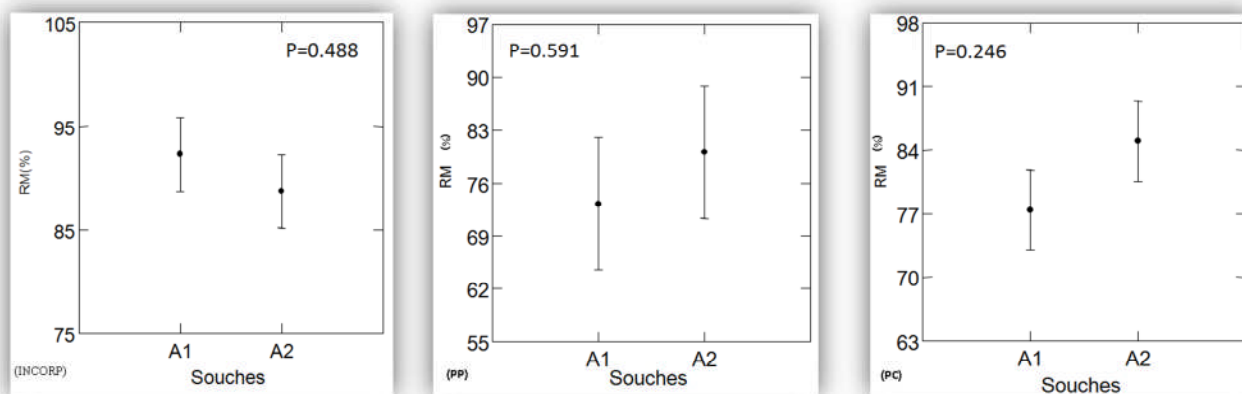


Fig 24. Analyse de la variance des taux de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application de traitements et des souches de *Phytophthora infestans*.

Les isolats de *Trichoderma* sp. ont enregistré des taux importants de réduction de la maladie et variables selon les modes d'application des traitements.

T₂ semble avoir le meilleur effet selon le mode préventif par incorporation au sol avec 96% et curatif par pulvérisation avec 90% et, T₃ selon le mode préventif par pulvérisation 93% (Fig 25).

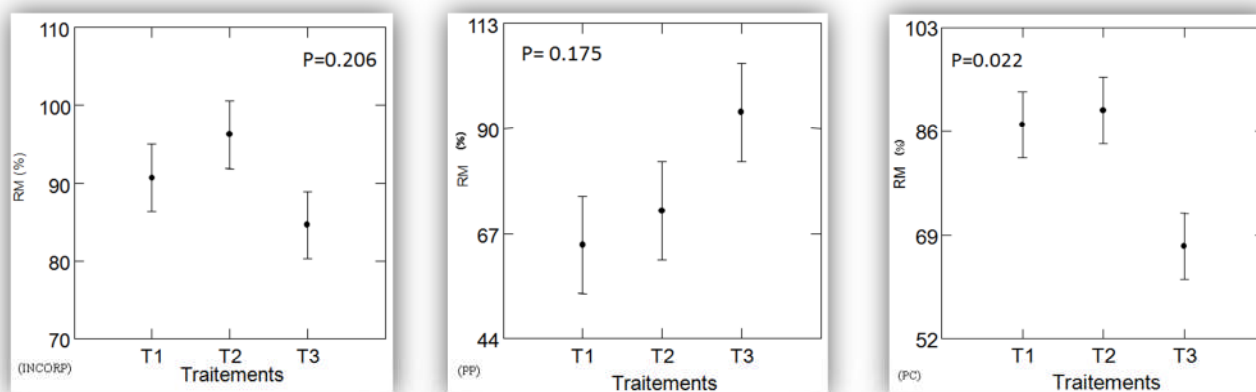


Fig 25 . Analyse de la variance des taux de réduction de maladie en modèle GLM selon les modes d'application de traitements et des isolats antagonistes du genre *Trichoderma* sp.

Une classification hiérarchique et une analyse en composante principale des taux de réduction de la maladie ont été déterminées pour les trois isolats de *Trichoderma* sp., les deux types sexuels de *P. infestans* et les trois modes d'application de traitements. En effet, la classification hiérarchique basée sur le calcul des distances euclidiennes et sur la base d'une similarité de (-0.9) a montré la présence de trois groupes, chaque groupe renfermant les Taux de réduction de la maladie en fonction des isolats antagonistes, ceux de *P. infestans* et les modes d'application des traitements (Fig 26 (1)). Ainsi, l'analyse en composante principale a affirmé que les deux isolats de *P. infestans* étaient corrélés positivement avec le groupe 2 où

Les taux de réduction de la maladie étaient très proches entre elles pour les isolats A₁ et A₂ de *P.infestans* concernant le mode d'application par incorporation au sol de T₃, par pulvérisation préventive de T₂ et par pulvérisation curative de T₁. Parallèlement, le groupe 1 est également corrélé avec les isolats de *P.infestans* particulièrement A₁ où les taux de réduction de la maladie concernent le mode d'application par incorporation au sol de T₁ et T₂, la pulvérisation préventive de T₃ et la pulvérisation curative de T₂ (Fig 26 (2)).

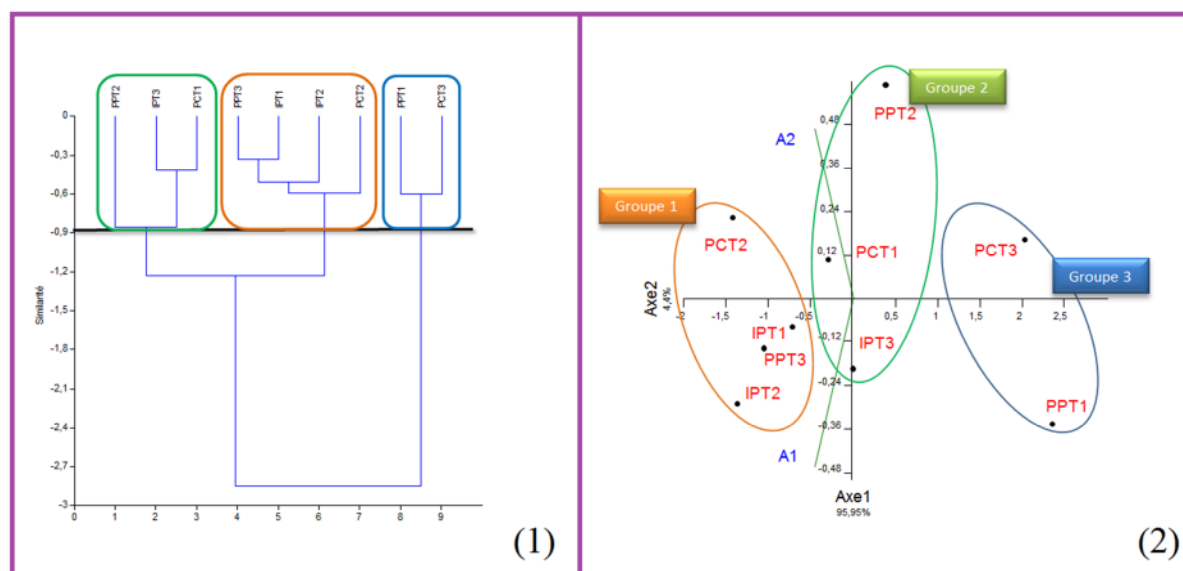


Fig 26. Classification hiérarchique (1) et Analyse en composante principale ACP (2) de la réduction de la maladie en fonction des paramètres étudiés.

3.2 Discussion

Le mildiou de la pomme de terre causé par l'oomycète phytopathogène *P.infestans* est probablement la maladie la plus importante qui touche la culture de cette espèce (Fry et Goodwin 1997 ; Ghorbani et *al.*, 2004 ; Mizubuti et *al.*, 2007). La lutte biologique est un moyen alternatif intéressant pour une agriculture durable qui vise à résoudre les problèmes phytosanitaires associés à l'utilisation de produits chimiques et à la résistance aux pesticides due à l'apparition de nouvelles souches agressives de *P.infestans*, et à fin de devenir éco-responsable (Akhtar et Siddiqui, 2008). Dans notre étude, trois isolats de *Trichoderma sp.* ont été sélectionnés dans l'objectif d'inhiber le développement de *P.infestans*.

L'incidence de la maladie du mildiou de la pomme de terre (période d'apparition et intensité) pourrait varier avec les types sexuels de *P.infestans*. Selon le bulletin d'information d'agriculture publiée au Québec N°09, 2011, le type sexuel A₂ est beaucoup plus virulent que le type A₁. Il a des potentialités qui lui permettent de se développer plus facilement et plus rapidement. Ces propriétés se résument en la période d'apparition des lésions foliaires visibles

au cours d'une période de 3 à 7 jours après l'infection, sa survie à une large gamme de températures (périodes sèches et chaudes), et l'importance de l'infection ou les dimensions des lésions (tâches et brûlures). Cependant, la période d'expression des symptômes occasionnés par A₁ et A₂ n'a pas enregistré une grande différence (cette période était 5.2 jours pour A₂ et 5.8 jours pour A₁). Mais, le nombre et les dimensions des lésions foliaires occasionnées par A₂ (le nombre de lésions varie entre 1.02 et 3.8 lésions ; diamètre varie entre 13.20 et 18.95mm) étaient plus importantes que celles développées par A₁ (le nombre de lésions varie entre 2.7 et 4 lésions ; diamètre varie entre 8.00 et 17.00 mm).

Les observations portées sur les symptômes développés durant notre expérimentation ont souligné que, l'infection foliaire n'était pas homogène tout au long de la tige. Les feuilles en haut de la tige étaient plus exposées au *P.infestans* que les feuilles inférieures. Un résultat tout à fait en accord avec ceux rapportés par Kirk et al.(1999). Selon Carnegie et Calhoun (1982), cette variabilité est due à la sensibilité élevée des jeunes feuilles proches des fleurs que celles des feuilles âgées situées à base de la tige.

Cette étude de l'activité antagoniste de *Trichoderma sp. in vivo* a montré une nette réduction de l'incidence et de la sévérité de la maladie engendrée par les deux types sexuels algériens A₁ et A₂ de *P.infestans*. Les traitements préventifs par incorporation au sol ou par pulvérisation des plants ont permis l'inhibition du développement des symptômes foliaires.

Des résultats similaires ont été rapportés par d'autres études ayant montré que les agents antagonistes doués de la phytoprotection contre certains agents pathogènes diminuent l'infection foliaire et la sévérité des pourritures racinaires de plusieurs cultures. Selon Mc Quiliken et al. (2001), l'utilisation de *Gliocladium catenulatum* pour le contrôle de *Pythium ultimum* agent de fonte de semis sur plusieurs cultures a donné une bonne efficacité. En outre, trois souches de *Trichoderma TH1, N47 et T12* ont été efficaces contre des agents phytopathogènes proches comme *P.cinnamomi* (Pugeg et Ian, 2006) et *P.capsici* (Ezziyyani et al., 2007).

Nos résultats ont révélé des taux importants de réduction de la maladie (90%) pour le mode d'application par incorporation au sol. Ces résultats sont en accord avec plusieurs recherches. À titre d'exemple Sivan et al. (1987) ont montré que l'enrobage des semences de tomate à l'aide de *T.harzJanum* a réduit de 80% l'attaque de la fusariose des racines et du collet de la tomate. De plus, l'application de ce même antagoniste dans le substrat de culture a révélé une réduction de l'incidence de la maladie durant la saison de culture et par conséquent une augmentation de 18.8% du rendement. De même, Sen (2000) a affirmé que le traitement du

sol ainsi que celui des grains par *Aspergillus niger* permet de réduire les fontes de semis causées par *Pythium aphanidermatum* avec une augmentation de la biomasse des plantules chez plusieurs cultures. Un contrôle actif des pourritures racinaires et de fontes de semis causées par *Fusarium sp.* y compris *Fusarium culmorum* a été obtenu par l'apport de *Gliocladium roseum* dans le sol (Castejon et Oyarzun, 1995).

Un autre mode préventif par pulvérisation des suspensions conidiennes de *Trichoderma* sur la partie aérienne des plants de pomme de terre a montré aussi une réduction importante de la maladie (84.6%). L'effet antagoniste des *Trichoderma* concerne aussi d'autres phytopathogènes foliaires. A titre d'exemple *T. koningii* a réduit également le piétin-verse sur les feuilles de sorgho provoqué par *Fusarium oxysporum* (Mutitu et al., 1997); *T. harzianum* assure la protection des feuilles de riz contre l'helminthosporiose causée par *Helminthosporium oryzae* (Mouria, 2003) et celle des feuilles du fraisier contre les attaques de *Botrytis cinera* (Hjeljord, 2001).

Les mécanismes mis en jeu par *Trichoderma in vivo* seraient les mêmes que ceux mis en évidence *in vitro*, à savoir le mycoparasitisme, la sécrétion des substances volatiles et diffusibles et la compétition pour l'espace et les nutriments. De plus, *T. harzianum* peut stimuler les mécanismes de défense des plantes traitées et augmenter ainsi leur protection. (Howell, 2003 ; Berber et al., 2009).

D'autres effets secondaires et favorables ont résulté des traitements de *Trichoderma sp.* La longueur des plants de la pomme de terre traités par *Trichoderma sp.* a été supérieure à celle des témoins. Ceci confirme l'activité stimulatrice des isolats de *Trichoderma sp.* sur la croissance et le développement des plants. Des travaux ont affirmé que l'addition de *T. harzianum* et *T. koningii* à une culture hydroponique de melon a entraîné un meilleur développement des plants traités par le *Trichoderma* par rapport aux plants témoins (Yedidia et al., 2000). Kleifdet et Chet (1989) ont expliqué cette stimulation par des régulateurs de croissance produits par l'agent antagoniste. Selon Harman et al. (2004a), les champignons bénéfiques tels que les *Trichoderma spp.* peuvent stimuler la croissance des plantes par l'augmentation de l'accessibilité des éléments nutritifs, par une efficacité dans l'utilisation de l'azote, et par la solubilisation des éléments nutritifs dans le sol. Altomar et al. (1999) ont montré que *T. harzianum* solubilisait le phosphate et les micro-éléments impliqués dans la stimulation de la croissance végétale. Chez les *Trichoderma spp.* des métabolites secondaires tels que l'harzianolide et le 6-pentyl- α -pyrone augmentent significativement la croissance des plantules de tomate (Vinale et al., 2007).

Cependant, l'efficacité de l'antagoniste dépend d'autres facteurs biotiques et abiotiques (sol, température et humidité relative). Lepoivre (2003) a enregistré une perte de l'activité protectrice de *T.viride* vis-à-vis de *Sclerotinia sclerotiorum* et *Botrytis cinerea* sur l'haricot lorsque l'humidité relative était de 95%, puisque la germination des conidies de *T.viride* est optimale à 100%. La sensibilité des isolats aux différents facteurs environnementaux explique en partie ces résultats insuffisants.

La compétition de l'antagoniste avec la microflore du sol serait un des facteurs déterminants son efficacité. L'application de *T.harzianum* dans un sol infecté par *Rhizoctonia solani* a permis de réduire de 20 à 80% les fontes de semis sur tomate, haricot et aubergine. L'additionnement de certains champignons non phytopathogènes au sol contenant des conidies de *Cochliobolus sativus* a réduit la pourriture racinaire sur blé. Ainsi, une réduction de la sévérité des pourritures racinaires a été souvent obtenue par l'introduction des antagonistes microbiens dans les sols infectés. Cela s'explique par une activation du système de défense de la plante, une augmentation de l'activité chitinase et peroxydase et un accroissement de l'activité enzymatique dans les feuilles induisant aussi une résistance systématique chez ces plants (Hibar et al., 2005). Cependant, L'étude de Cynthia et al. (1994) a montré que le développement de *T.harzianum* a été plus élevé pour les semences du maïs traitées et semées dans un sol stérilisé en comparaison avec celles semées dans un sol non stérilisé. La limitation de la colonisation de *Trichoderma* peut s'expliquer par son incapacité de se concourir avec la microflore du sol.

La période d'incorporation de l'antagoniste par rapport au pathogène est un facteur déterminant pour le succès du traitement. D'après Van Achter et al. (1988), le traitement des plants de tabac est efficace seulement si *Botrytis cinerea* est inoculé dans le sol un jour ou plus après le traitement par *T.harzianum*. De même la réduction, de l'antracnose de luzerne causée par *Colletotrichum trifolii* par des agents biologiques parmi lesquels *T.harzianum*, est plus significative si les agents biologiques sont introduits dans le sol deux jours avant le pathogène (Demeyer et al., 1988). De même les études effectuées par Kexiang et al. (2000) ont montré l'efficacité de *Trichoderma sp.* contre *Botryosphaeria berengeriana* quant ils ont été inoculé trois jours avant plutôt qu'au même temps. Baker et Cook (1974) ont suggéré que les agents antagonistes devraient coloniser la rhizosphère ce qu'influe le succès de leur compétition que ce soit spatiale ou nutritive dès l'arrivée des phytopathogènes.

Cela nous laisse envisager que les facteurs biotiques jouent un rôle aussi important que les facteurs abiotiques sur l'efficacité de l'activité antagoniste de ce champignon. Cette

variabilité peut être expliquée par la présence de populations inhibitrices de l'activité antagoniste et de la croissance de l'agent introduit. Selon Bae et Knudsen (2000) les populations fungivores augmentent rapidement à la suite de l'incorporation du champignon dans le champ, en conséquence elles inhibent sa croissance et sa prolifération. Ainsi les *Pseudomonas sp.* peuvent produire des métabolites toxiques pour *Trichoderma sp.*

Cette variabilité est en fonction de la nature biologique du sol, où on peut rencontrer certaines populations stimulatrices de l'activité antagoniste des *Trichoderma* comme certains insectes du sol qui stimulent la colonisation des sclérotés par *Trichoderma sp.* (Gracia et al., 1997).

En résumé, ce présent travail a confirmé le pouvoir antagoniste des isolats algériens de *Trichoderma sp.* en vue de leur utilisation comme moyen de lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre en Algérie. Cependant, d'autres recherches sont nécessaires pour soulever les contraintes et développer une formulation adéquate qui améliore leurs niveaux de protection au champ.

Conclusion

Conclusion

Ce présent travail a été réalisé dans le but d'explorer des alternatives pour le traitement et/ou la prévention du mildiou de la pomme de terre causé par *P. infestans*. L'étude a été basée sur des tests d'antagonisme *in vivo*, et a montré l'efficacité potentielle de trois isolats Algériens (T₁, T₂ et T₃) de *Trichoderma sp.* à l'égard de *P. infestans* selon trois modes de traitements ; les deux modes préventifs par incorporation au sol des antagonistes ou par leur pulvérisation, et le mode curatif. Ces trois modes de traitement ont abouti à la réduction de l'incidence et la sévérité de la maladie causée par les deux types sexuels A₁ et A₂ de l'agent phytopathogène, inoculé séparément sur la surface foliaire des plants de la variété « Spunta » de pomme de terre, avant floraison.

Au terme de ce présent travail qui confirme les études effectuées par Zanoune (2012) portées sur l'efficacité de traitement à base d'isolats de *Trichoderma sp.* contre *P. infestans*, il est nécessaire de rappeler les résultats les plus significatifs :

➤ La période d'apparition des symptômes était très proche entre les deux souches de *P. infestans*. Cependant les modes préventifs par incorporation des antagonistes au sol et par leur pulvérisation sur la surface foliaire ont enregistré la plus longue période avec 6 jours pour l'apparition des symptômes caractéristiques de la souche A₂ avec l'application du traitement de l'isolat T₂ de *Trichoderma sp.*

➤ L'application des traitements a régressé considérablement l'incidence de la maladie pour les deux souches phytopathogènes, en comparaison avec celles des témoins positifs. Le traitement par l'isolat T₂ de *Trichoderma sp.* en mode préventif était efficace contre les deux souches A₁ et A₂ de *P. infestans* (33.33%), alors que celui par l'isolat T₃ en mode préventif par pulvérisation était efficace contre A₂ (33.33%).

Le nombre de lésions et leurs diamètres résultant de l'application des traitements contre A₁, surtout sous l'action de T₂ avec une lésion de 8mm de diamètre, étaient les plus faibles en comparant avec ceux développés par A₂, ce qui montre en outre la virulence de ce dernier. Les isolats de *Trichoderma sp.* sont plus efficaces contre le pathogène testé s'ils sont appliqués en mode préventif plutôt qu'en mode curatif. En effet, les modes préventifs par incorporation au sol et par pulvérisation ont résulté en une réduction importante de la maladie variant entre de 85 et 90%, respectivement. Mieux encore, l'addition de cet agent antagoniste au substrat de culture a stimulé la croissance végétative des plants de la pomme de terre.

Pour conclure, le pouvoir antagoniste des isolats algériens de *Trichoderma sp.*, testés dans le biocontrôle de *P.infestans*, est lié au mode d'apport de l'agent antagoniste, à la date de son application par rapport au pathogène, et à l'agressivité du pathogène.

Pour répondre à d'autres questions relatives à l'application de ces alternatives de biocontrôle du mildiou et aux mécanismes de leur action, il sera intéressant d'explorer les points suivants :

- L'efficacité d'utilisation de *Trichoderma sp.* avec d'autres méthodes d'application.
- L'étude de leur profil enzymatique.
- L'étude de leur écotoxicité.
- L'efficacité des antagonistes sur d'autres phytopathogènes redoutables.
- L'amélioration de leur pouvoir antagoniste en formant un mélange mixte avec d'autres agents biologiques.
- Recherche d'autres microorganismes éliciteurs à l'égard de *P.infestans*

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Ahmad J. S. et Baker R. (1987).** Compétence rhizosphérique de *Trichoderma harzianum*. J. Phytopathol. **77**: 182- 189 .
2. **Ahmed-Serir B. et 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 p.
3. **Akhtar M. S. and Siddiqui Z. A. (2008).** Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotectants against plant pathogens, dans Siddiqui Z. A, Akhtar M. S., Futai K. (eds.) Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry, Springer, New Delhi: 61–97p.
4. **Alabouvette C. et Davet P. (1985).** Perspectives de lutte biologique et intégrée contre les maladies d'origine tellurique en cultures protégées. *La Défense des Végétaux* 8: 234–237p.
5. **Alexopoulos C. J. (1962).** Introductory Mycology, Second Edition, Wiley and Sons, New York and London: 376p.
6. **Alexopoulos C. J., Mims C. W. and Blackwell M. (1996).** Introductory Mycology, Ed. John Wiley and Sons, Inc., New York: 717-723p.
7. **Altomare, C., Norvell, W. A., Bjorkman, T. and Harman, G. E. (1999).** Solubilisation of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 2926-2933
8. **Amrar S. (2005).** Age physiologique et influence des conditions de stockage sous froid longue durée dans le développement de la culture de pomme de terre d'arrière-saison et de primeur. *Macir revue* 2. Algérie: 11–14 p.
9. **Andrivon D. (1994).** Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils. *Soil Biology and biochemistry*, 26: 945–952.
10. **Andrivon D. (1995).** Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology*, 85: 1053–1056.
11. **Andrivon D. (1996).** The origin of *Phytophthora infestans* populations present in Europe in the 1980s: a critical review of historical and scientific evidence. *Plant Pathology*, 45: 1027–1035.
12. **Andrivon D. and Lebreton L. (1997).** Mildiou de la pomme de terre : Où en sommes nous après 150 ans ? *Phytoma*, N°494 : 24–27.

13. **Andrivon D., Corbière R., Lucas L. M., Pasco C., Gravouille J. M., Pelle R., Dantec J. P. and Ellissèche D. (2003)**. Resistance to late blight and soft rot in six potato progenies and glycoalkaloid contents in the tubers. *American Journal of Potato Research*, 80: 125–134.
14. **Anonyme (2006)**. Protection phytosanitaire en culture de pomme de terre biologique, Fiche 1: Lutte contre les champignons et les bactéries pathogènes.
15. **Anonyme (2008)**. Maladies, ravageurs et désordres de la pomme de terre. Guide d'identification et fiches descriptives. Fnpppt, Gnis et Arvalis (eds.) : 538p.
16. **Avila-Adame C., Gomez-Alpizar L., Zismann V., Jones K. M., Buell C. R. and Ristaino P. (2006)**. Mitochondrial genome sequences and molecular evolution of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Current Genetics*, 49: 39–46.
17. **Bae Y.-S. and Knudsen G. R. (2000)**. Cotransformation of *Trichoderma harzianum* with b-glucuronidase and green fluorescent protein genes provides a useful tool for monitoring fungal growth and activity in natural soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 66 : 810–815.
18. **Bahous M., OuazzanI-Touhami A. and Douira A. (2008)**. Survie de quelques pathogènes fongiques sur les feuilles de riz conservées au laboratoire. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, N°30: 13–18p.
19. **Baker K. F. and Cook R. J. (1974)**. Biological control of plant pathogens. Freeman W H and Company, San Francisco: 433 p.
20. **Bankonyi J. and Ersek T. (1997)**. First report of the A2 mating type of *Phytophthora infestans* on potato in Hungary. *Plant Disease*, 81: 1094.
21. **Barat J., Paran G. et Bernabé C. (2012)**. La pomme de terre, bilan de campagne 2010-2011 FranceAgriMer: 8p.
22. **Benhamou N. and Chet I. (1996)**. Parasitism of *Sclerotia* of *Sclerotium rolfsii* by *Trichoderma harzianum*: ultrastructural and cytochemical aspects of the interaction. *Phytopathology* 86: 405–416.
23. **Benhamou N. and Chet I. (1997)**. Cellular and molecular mechanisms involved in the interaction between *Trichoderma harzianum* et *Pythium ultimum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63: 2095–2099.
24. **Berber F. (2008)**. *Sorghum bicolor* L. Moench. dans la région du Gharb et le Loukkos : Biologie, pouvoir pathogène et recherche de moyens de lutte biologique et chimique. Thèse Doct. Nat., University Ibn Tofaïl Kénitra, Maroc :183 p.

25. **Berber F., Ouazzani-Touhami M., Badoc A. et Douira A. (2009).** Antagonisme *in vivo* de deux *Trichoderma* à l'égard de quatre espèces de *Bipolaris* pathogènes sur le sorgho. Bulletin de la Société de Pharmacie de Bordeaux, 148: 93–114.
26. **Besnard O. (1992).** Etude de souches *Trichoderma* à la fois stimulatrices de croissance de plantes et antagoniste du *Pythium ultimum*. Thèse Doct. Université Montpellier, France : 107 p.
27. **Birch P. R. J., Avrova A. O., Duncan J. M., Lyon G. D. and Toth R. L. (1999).** Isolation of potato genes that are induced during an early stage of the hypersensitive response to *Phytophthora infestans*. Molecular Plant-Microbe Interactions, 12: 356–361
28. **Bissett J. (1984).** A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Longibrachiatum* sect. Nov. Canadian Journal of Botany, 62: 924–931.
29. **Bissett J. (1991).** A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Pachybasium*. Canadian Journal of Botany, 69: 2373–2417.
30. **Bissett J. (2004).** Commentaires de l'adresse internet suivante : [http ://www.Medicalglossary .org/fungi_ mitosporic _ fungi_ definitions.html](http://www.Medicalglossary.org/fungi_mitosporic_fungi_definitions.html).
31. **Blaeser P. and Steiner U. (1999).** Antifungal activity of plant pathology extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*), Modern Fungicides and Antifungal Compounds II. 12th International Reinhardsbrunn Symposium, Freidrichroda, Thuringia.
32. **Bock B. (2012).** Base de Données Nomenclaturales de la Flore de France (BDNFF) version 4. <http://bbock.free.fr/botanica/BDNFF.php>. Dernière consultation le 26 Novembre 2012.
33. **Bolar J. P., Norelli J. L., Wong K. W. , Hayes C. K., Harman G. E. and Aldwinckle H. S. (2000).** Expression of endochitinase from *Trichoderma harzianum* in transgenic apple increases resistance to apple scab and reduces vigor Phytopathology 90 (1): 72-77.
34. **Botton B., Breton A., Fevre M., Guy P. H., Larpeni J. P. et Veau Prénom. (1990).** Moisissures utiles et nuisibles: Importance industrielle. 2^{ème} Edition Massan, Paris, France : 512 p.
35. **Bouchet P., Guignard J. L., Pouchus Y. F. et Villard J. (2000).** Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée 2^{ème} édition Masson, Paris, France : 274 p.
36. **Boyd A. E. W. (1974).** Sources of potato blight (*Phytophthora infestans*) in the East of Scotland. Plant Pathology, 23: 30–36.
37. **Bulletin d'information d'agriculture publiée au Québec N°09, 2011**
<http://www.agrireseau.qc.ca/rap>. Dernière consultation le 12/06/2012

38. **Carnegie S. F. et Colhoun J. (1982).** Susceptibility of potato leaves to *P. infestans* in relation to plant age and leaf position. *Journal of Phytopathology*, 104: 157–167.
39. **Caron J., Laverdière L., Thibodeau P. O. et Bélanger R. . (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.
40. **Castejon-Mufioz M. et Oyarzun P. J. (1995).** Soil receptivity to *Fusarium solani* f. sp. *pisi* and biological control of root rot of pea. *Phytopathology* 101: 35-49.
41. **Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (2010).** Bulletin des variétés de pomme de terre. CNCC ed., Algérie : 253 p.
42. **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. Institut National d'Agronomie, El Harrach, Algerie: 1–11p.
43. **CNCC., (2010).** Bulletin des variétés de pomme de terre. Editée par le CNCC : 253 p.
44. **Coffey M. and Gees R. (1991).** The cytology of development. In: INGRAN, D.S.; WILLIAMS, P.H. *Advances in plant pathology*. London: Academic:31-47p.
45. **Cook R. J and Bruehi G. W. (1968).** Relative significance of parasitism versus saprophytism in colonization of wheat straw by *Fusarium roseum* "*Culmorum*" in the field. *Phytopathology* 58:306-308.
46. **Cooke L. R., Schepers H., Hermansen A., Bain R. A., Bradshaw N. J., Ritchie F., Shaw D. S., Evenhuis A., Kessel G. J. T., Wander J. G. N., Andersson B., Hansen J. G., Hannukkala A., Naerstad R., Nielsen B. J. (2011)** Epidemiology and integrated control of potato late blight in Europe. *Potato Res* 54(2):183–222.
47. **Corbière R. et Glais I. (2005).** Inoculation en conditions contrôlées de folioles détachées de pomme de terre, pour déterminer l'agressivité et la virulence d'isolats de *Phytophthora infestans*. *Cahier des techniques*. Numéro spécial: 143–147p.
48. **Crosier W. F. (1934).** Studies in the biology of *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Mémoire, Cornell University Agricultural Experiment Station, Cornell University; 40 p.
49. **Cuypers B. and Hahlbrock K. (1988).** Immunohistochemical studies of compatible and incompatible interactions of potato leaves with *Phytophthora infestans* and of the nonhost response to *Phytophthora megasperma*. *Canadian Journal of Botany*, 66: 700–705.
50. **Cynthia M., Ocamb C. M. and Kommedahl T. (1994).** Rhizosphere competence of *Fusarium* species colonizing corn roots. *Phytopathology* 84: 166-172.

51. **Daayf F. and Platt (Bud) W. H. (1999)**. Assessment of mating types and resistance to metalaxyl of Canadian populations of *Phytophthora infestans* in 1997. *American Journal of Potato Research*, 76: 287–295.
52. **Davet P. (1981)**. Effet de quelques pesticides sur la colonisation d'un substrat par *Trichoderma harzianum* Rifai en présence des autres champignons de sol. *Soil Biol. Biochem* 13 :513-517.
53. **De Meyer G., Bigirimana J., Elad Y. and Hofte M. (1998)**. Induced systemic resistance in *Trichoderma harzianum* T39 biocontrol of *Botrytis cinerea*. *Plant Pathology* 104: 279–286.
54. **Dommergues Y. et Mangenot F. (1970)**. Ecologie microbienne du sol. Paris, Masson et Cie :796p
55. **Domsch K. H. (1980)**. Interpretation and evaluation of data, Weed Research Organization Technical Report, 59, pp. 6-8.
56. **Dorrance A. E., Inglis D. A., Derie M. L., Brown C. R., Goodwin S. B., Fry W. E. and Deahl K. L. (1999)**. Characterization of *Phytophthora infestans* populations in western Washington. *Plant Disease*, 83: 423–428.
57. **Drenth A., Turkensteen L. J. and Govers F. (1993)**. The Occurrence of the A₂ Mating Type of *Phytophthora infestans* in the Netherlands; Significance and consequences. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 99: 57–67.
58. **Dudka I. A. and Burdyukova L. I. (1996)**. Flora Fungorum Ukrainicae. Oomycetes. Phytophthoraceae, Albuginaceae. Kiev: Naukova Dumka: 204 p.
59. **Duffy B. K., Simon A. and Weller D. M. (1996)**. Combination of *Trichoderma koningii* with fluorescent *Pseudomonads* for control of take-all on wheat. *Phytopathology* 77: 182-189.
60. **Duvauchelle S. et Andrivon D. (1996)**. Maladies à distribution géographique mondiale : le mildiou et son agent *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. de la pomme de terre. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse http://www.racaud.com/Epidemio/Evaluation_maladie.php. Dernière consultation le 26 Novembre 2012.
61. **Elad Y., Barak R. and Chet I. (1984)**. Parasitism of *Sclerotium rolfsii* sclerotia by *Trichoderma harzianum*. *Soil Biol. Biochem.* 16:381-386.
62. **Elad Y., Barak R. and Chet I. (1984)**. Parasitism of *Sclerotium rolfsii* by *Trichoderma harzianum*. *soil boil. Biochem.* 16: 381-386.

63. **Elad Y., Chet I. and Henis Y. (1982).** Degradation of plant pathogenic fungi by *Trichoderma harzianum*. Canadian Journal of Microbiology, 28: 719–725.
64. **Erwin D. C. and Ribeiro O. K. (1996).** *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA: 561 p.
65. **Ezziyyani M., Requena M. E., Egea-Gilabert C. and Candela M. E. (2007).** Biological control of *Phytophthora* root rot of pepper using *Trichoderma harzianum* and *Streptomyces rochei* in combination. Journal of Phytopathology, 155: 342–349.
66. **Frinking H. D., Davidse L. C. and Limburg H. (1987).** Oospores formation by *Phytophthora infestans* in host tissue after inoculation with isolates of opposite mating type found in the Netherlands. Netherlands Journal of Plant Pathology, 93: 147–149.
67. **Fry W. E. et Goodwin S. B. (1997 a).** Re-emergence of potato and tomato late blight in the United States. Plant Dis. 81:1349-1357.
68. **Fry W. E. (2000).** Molecular techniques and the mystery of the potato late blight. Dans Christine D S, Roberts W S, Fry W E (Eds.) Potato Late Blight Pathogen, APS Press, USA. : 21–42p.
69. **Fry W. E. and Goodwin S. B. (1997 b).** Resurgence of the Irish potato famine fungus. Bioscience, 47:363–371.
70. **Fry W. E., Goodwin S. B., Matuszak J. M., Spielman L. J., Milgroom M. G. and Drenth A. (1992).** Population genetics and intercontinental migration of *Phytophthora infestans*. Annual Review of Phytopathology, 30: 107–129.
71. **Furuse K., Takemoto D., Doke N. and Kawakita K. (1999).** Involvement of actin filament association in hypersensitive reaction in potato cells. Physiological and Molecular Plant Pathology, 54: 51–61.
72. **Gallegly M. E. (1970).** Genetics of *Phytophthora*. Phytopathology, 60: 1135–1141p.
73. **Gallegly M. E. and Galindo J. (1958).** Mating types and oospores of *Phytophthora infestans* in nature in Mexico. Phytopathology, 48: 274–277.
74. **Gallegly M. E. and Hong C. X. (2008).** *Phytophthora*: Identifying species by morphology and DNA Fingerprints. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA: 157 p.
75. **Gaucher D., Duvauchelle S. et Andrivon D. (1998).** Mildiou de la pomme de terre: le champignon évolue, la lutte aussi. Perspectives Agricoles, 236: 20 p.
76. **Ghorbani R., Wilcockson S. J., Giotis C. and Leifert C. (2004).** Potato late blight management in organic agriculture. Outlooks on Pest Management, 15:176–180.

77. **Gisi U. and Cohen Y. (1996)**. Resistance to phenylamide fungicides: a case study with *Phytophthora infestans* involving mating type and race structure. *Annual Review of Phytopathology*, 34: 549–572.
78. **Goodwin S. B., Cohen B. A., Deahl K. L. and Fry W. E. (1993)**. Migration from northern Mexico as probable cause of recent genetic changes in populations of *Phytophthora infestans* in the United States and Canada. *Phytopathology*, 84: 553–558.
79. **Goodwin S. B., Sujkowski L. S. and Fry W. E. (1996)**. Rapid evolution of pathogenicity within clonal lineages of the potato late blight disease fungus. *Phytopathology*, 85: 669–675.
80. **Gracia-Garra J. A., Reeleder R. D. and Paulitz T. C. (1997)**. Degradation of *Sclerotia* of *Sclerotium* by fungus gnats (*Bradysia ciprophila*) and the biocontrol Fungi *Trichoderma* spp. *Soil biochem* 29:123-129.
81. **Grison G. (1989)**. Les relations sol racine et leur incidence sur le comportement de la plante Rev. La pomme de terre française 451 : 63-68p.
82. **Hafidi M., Achbani E. H., Lamaraah N., El Bouami F., Andrivon D. and Corbière R. (2002)**. Geographic differentiation of populations of *Phytophthora infestans* in Morocco. *A₁ Awamia*, N°104: 96 p.
83. **Hamlaoui Y. (2009)**. Efficacité de quelques isolats algériens fongiques de *Trichoderma harzianum* et *Paecilomyces lilacinus* sur les nématodes à galles genre *Meloidoyne*. Thèse d'ingénieur. Université Saad Dahleb, Blida, Algérie : 49 p.
84. **Hammer Ø., Harper D. A. T. and Ryan P. D. (2001)**. PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica*, 4: 1–9.
85. **Hammi A. (2003)**. Caractérisation de populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary dans la région de Saïs. Thèse de doctorat en phytopathologie. Université Sidi Mohamed Ibn Abdollah, Fes, Maroc : 272 p.
86. **Harman G. F. (1996)**. *Trichoderma* for biocontrôle of plant pathogens from basic research to commercialized products. Corneil community. Conference on biological control April 1996.
87. **Harman G. F., Taylor A. G. and Stasz T. F. (1989)**. Combining effective strains of techniques phytosanitaires 2001. INPV, Alger, 362- 371 p.
88. **Harman, G. E., Howell, C. R., Vitebro, A., Chet, I. and Lorito, M. (2004)**. *Trichoderma* species- opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews/Microbiology* 2: 43-56

89. **Harmel, N., Francis. F., Haubruge. E., et Giordanengoz. P., (2008).** Physiologie des
Physiologie des interactions entre pomme de terre et pucerons : vers une nouvelle stratégie
de lutte basée sur les systèmes de défense de la plante. Cahiers Agricultures vol. 17, n° 4.
90. **Harran S., Schickler H., Oppenheim A. and Chet I. (1996).** Differential expression of
Trichoderma harzianum chitinases during mycoparasitism. Phytopathology 86:980-985.
91. **Haverkort A., Struik P., Visser R., Jacobsen E. (2009)** Applied biotechnology to combat
late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. Potato Res 52(3):249–264.
92. **Henfling J. W. (1987).** Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information technique,
Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou. 23–30p.
93. **Hermansen A., Hannukkala A., Hafskjold N. R. and Brurberg M. B. (2000).**
Variation in population of *Phytophthora infestans* in Finland and Norway: mating type,
metalaxyl resistance and virulence phenotype. Plant Pathology, 49: 11–22.
94. **Hirst J. M. (1953).** Change in atmospheric spore content: diurnal periodicity and the
effects of weather. Transactions of the British Mycological Society, 36: 375–393.
95. **Hjeljord G. L., Stensvand A. and Tronsmo A. (2001).** Antagonism of nutrient-activated
conidia of *Trichoderma harzianum* (*atroviride*) P1 against *Botrytis cinerea*.
Phytopathology, 91: 1172–1180.
96. **Hohl H. R. (1983).** Nutrition of *Phytophthora*. Dans Erwin D C, Bartnicki- Garcia S,
Tsao P H (eds.) *Phytophthora: Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. APS Press,
St. Paul, Minnesota, USA: 41–54p.
97. **Hohl H. R. and Iselin K. (1984).** Strains of *Phytophthora infestans* Switzerland's with A2
mating type behaviour. Transactions of the British Mycological Society, 83: 529–530p.
98. **Howell C. R. (2003).** Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological
control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. Plant Disease, 87:
4–10.
99. **Isaac S. (1992).** Fungal-Plant Interaction. Published by Chapman and Hall, Boundary: 2-
6p.
100. **Ibrahim L. A. M., Ragab M. M., Sahab A. F. and El- hougny N. S. (1996).**
Biocontrol of tomato root rot and wilt. Egypt J. Phytopathology 24(1-2): 45-56p.
101. **Jailous F. (1987).** Evaluation des propriétés antagonistes de 11 souches de
Trichoderma sur *Botrytis cinerea* à l'aide de plusieurs méthodes de laboratoire. Bulletin
OEPP 17 : 541-547p

102. **Jeong M. J., Jang S. and Park C. S. (1997).** Influence of soil pH and salinity on antagonistic activity and rhizosphere competence of biocontrol agents. *Korean Journal of Plant Pathology* 6: 416-420.
103. **Jmour W. and Hamada W. (2006).** First report of A₂ mating type of *Phytophthora infestans* in Tunisia using molecular markers and some observation on its metalaxyl resistance. *Tunisian Journal of Plant protection*, 1: 85–91.
104. **Journal Officiel (2009).** Journal Officiel N° 07 du 28 Janvier 2009, fixant la liste provisoire des espèces et variétés de céréales, de pomme de terre et des espèces arboricoles et viticoles autorisées à la production et à la commercialisation : 17–20p.
105. **Judelson H. S. (1996).** Genetic and Physical Variability at the Mating Type Locus of the Oomycete, *Phytophthora Infestans*. *Genetics* 144: 1005-1013.
106. **Judelson H. S., Blanco F. A. (2005)** The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer. *Nat Rev Microbiol* 3(1):47–58.
107. **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: 38–41.
108. **Kessel G. J. T. and Förch M. G. (2006).** Effect of UV-exposure on germination of sporangia of *Phytophthora infestans*. *Plant Research International, Wageningen*. 395: 1–12p.
109. **Kexiang G., Xiaoguang L., Yonghong L., Tianbo Z. and Shuliang W. (2002).** Potential of *Trichoderma harzianum* and *T. atroviride* to control *Botryosphaeria berengeriana* f. sp. *piricola*, the cause of apple ring rot. *Journal of Phytopathology*, 150: 271–276.
110. **Kirk P. M., Cannon P. F., Minter D. W., Stalpers J. A. (2008).** Dictionary of the Fungi. 10th ed., CAB International, Wallingford, UK: 750 p.
111. **Kirk W. W., Niemira B. A., Stein J. M. and Hammerschmidt R. (1999).** Late blight (*Phytophthora infestans* (Mont) De Bary) development from potato seed pieces treated with fungicides. *Pesticide Science*, 55: 1151–1158.
112. **Kiru S. D. (2002).** Sources of horizontal resistance to late blight from *Solanum andigena* accessions. In *Global Initiative on Late Blight, Newsletter* 16: 8 p.
113. **Kleifeld O. and Chet I. (1992).** *Trichoderma harzianum* – interaction with plants and effect on growth response. *Plant and Soil* 144, 267–272.

114. **Kolobaev V. A. and Rogozina E. V. (2002).** Using *Solanum* genetic diversity to achieve high horizontal resistance to potato late blight. Dans Global Initiative on Late Blight, Newsletter 16: 8 p.
115. **Kooistra S. (1991).** Less sickness equals better working: Prevention of absenteeism due to sickness in the Netherland. Labour Inspectorate, Ministry of Social Affairs and Employment 1st Ed.: 35 p.
116. **Labdi C. E. H. (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 Dahleb, Blida, Algérie : 51 p.
117. **Laing C. (1998).** Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information de la division de la gestion des demandes d'homologation et de l'information. Agence Réglementaire de la parasitaire. Canada.
118. **Laumonier R. (1979).** Cultures légumières et maraichères 3. Ed.J B. Bailer. Paris : 276p.
119. **Lebreton L., Laurent C. and Andrivon D. (1998).** Evolution of *Phytophthora infestans* populations in the two most important potato production areas of France during 1992-96. *Plant Pathology*, 47: 427-439.
120. **Lepoivre P. (2003).** Phytopathologie. Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de lutttes. De Boeck & Larcier, Les presses agronomiques de Gembloux, Bruxelles : 427 p.
121. **Lo C.T., Nelson E. B., Hayes C. K. and Harman G. F. (1998).** Ecological studies of transformed *Trichoderma harzianum* strain 1295-22 in the rhizosphere and on the phylloplane of creeping bent grass. *Phytopathology* 88: 129-136.
122. **MADR (2008).** Services de statistiques des cultures, ministère d'agriculture et de développement rural.
123. **Mahiout D. (1993).** Contribution à l'étude de quelques antagonistes du *Fusarium oxysporum* of *Trichoderma harzianum* and solid matrix primining to improve biological seed treatments. *Plant disease* 76: 631-637.
124. **Mangenot F., Diem H. G. (1979).** Fundamentals of biological control, in: Krupa S V and Dommerges Y R (eds.) Ecology of root pathogens, Elsevier, Amsterdam: 107p.
125. **Martin J. F. (2004).** Culture de la pomme de terre de conservation. Arvalis Institut Technique de la Pomme de Terre : 4-11p.

126. **McQuilken M. P., Gemmell J. M. L., Lahdenpera M.A. L. (2001).** *Gliocladium catenulatum* as a potential biological control agent of damping-off in bedding plants. *Journal of Phytopathology* 149:171-178.
127. **Meera M. S., Shivanna M. B., Kageyama K. and Hyakumachi M. (1995).** Persistence of induced systemic resistance in cucumber in relation to root colonization by plant growth promoting fungal isolates. *Crop Prot.* 14:123–130.
128. **Messiaen C. M. (1981).** Les variétés résistantes, méthodes de lutte contre les ennemies des plantes. INRA, Paris: 374p.
129. **Mizubuti E. S. G., Lourenço J. V. and Forbes G. A. (2007).** Management of late blight with alternative products. *Pest Technology*, 1: 106–116.
130. **Montarry J. (2007).** Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte *Solanum tuberosum*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, France : 177 p.
131. **Montarry J., Corbière R., Lesueur S., Glais I. and Andrivon D. (2006).** Does selection by resistant host trigger local adaptation in plant-pathogen systems? *Journal of Evolutionary Biology*, 19: 522– 531.
132. **Moumene S., Nebih D. et Djazouli Z. E. (2005/2008).** Recherche des champignons filamenteux associés aux nématodes de galles de la tomate en Algérie : Projet DURAS/NEMATUS (2DCG3-5).
133. **Mouria A., Ouazzani Touhami A. et Douira A. (2003).** Etude de certains facteurs favorisant le maintien de l'activité antagoniste de *Trichoderma harzianum* à l'égard de *Helminthosporium oryzae* sur les feuilles de riz. *Les Cahiers de la Recherche* : 50–66p.
134. **Mulder A. et Turkensteen L. J. (2005).** Potato diseases: Diseases, pests and defects. NIVAP Holland, The Haag, Netherlands: 280 p.
135. **Mutitu E. W. and Muriungi S. (1997).** Biological control of root rot of beans caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* using an antagonist *Trichoderma* spp. *African Crop Science Conference Proceedings*, 3: 1063–1067.
136. **Niederhauser J. S. (1991).** *Phytophthora infestans*: the Mexican connection. Dans Lucas J A, Shattock R C, Shaw D S, Cooke L R (Eds.) *Phytophthora*, Cambridge University Press, Cambridge, U. K. : 25–45p.
137. **Noyd R. K. (2000).** Carte de références mycologie. St Paul, Minnesota, APS Press
138. **Olivier J. M and German (sd).** étude des antibiotiques volatils des *Trichoderma* dans les antagonismes microbiens. 24^{ème} colloque SFP. Les colloques de l'INRA 18: 592p.

139. **O'Sullivan E. and Dowley L. J. (1991).** A note on the occurrence of the A₂ mating type and self-fertile isolates of *Phytophthora infestans* in the Republic of Ireland. Irish Journal of Agricultural Research, 30: 67–69.
140. **Paitier G. (1980).** Le mildiou de la pomme de terre. Phytoma, Avril 1980, 23-27 p.
141. **Papavizas G. C. (1985).** *Trichoderma* and *Gliocladium*: Biology, ecology, and potential for biocontrol. Annual Review of Phytopathology 23:23-54.
142. **Papavizas G. C. (1981).** Survival of *Trichoderma harzianum* in soil and in pea and bean rhizosphere. Phytopathology 71: 121-125.
143. **Peeten H. G., Shipper E. and Baarveld H. R. (2007).** Catalogue Néerlandais des variétés de la pomme de terre, NIVAP Netherlands Potato Consultative Foundation, Netherlands : 164 p.
144. **Peter O. en Bram van Nieuwenhijzen (2005).** La culture des champignons à petite échelle, pleurotes shiitakes et auriculaires. Agromiqa foundation 82 : 27p
145. **Philipeau G. (1989).** Comment interpréter les résultats d'analyse en composantes principales (ACP). Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), Paris.
146. **Pieterse C. M. J., Verbakel H. M., Hoek Spaans J., Davidse L. C. and Govers F. (1993).** Increased expression of the calmodulin gene of the late blight fungus *Phytophthora infestans* during pathogenesis on potato. Molecular Plant-Microbe Interactions, 6: 164–172.
147. **Platt B. (2008).** Maladies de la pomme de terre causées par des oomycètes. Cahiers Agricultures 17(361) : 329- 420p.
148. **Pugeg I. N. A. and Ian D. G. (2006).** Mycoparasitic and antagonistic inhibition on *Phytophthora cinnamomi* rands by microbial agents isolated from manure composts. Plant Pathology Journal, 5: 291– 298 .
149. **Radtke W. and Rieckmann W. (1991).** Maladies et Ravageurs de la Pomme de Terre. Th. Mann. Ed., Gelsenkirchen-Bue, Canada : 120 p.
150. **Rauscher G. M., Smart C. D., Simko A., Bonierbale M., Mayton A., Greenland A. et Fry W. E. (2006).** Characterization and mapping of RPi-ber a novel potato late blight resistance gene from *Solanum berthoultii*. Theoretical and Applied Genetics, 112: 674–687.
151. **Reckhaus P. (1997).** Maladies et ravageurs des cultures maraicheres. A l'exemple de Réglementation de la Lutte Parasitaire Madagascar. Weikersheim (MARGRAF): 402 pp.

152. **Rifai M. A. (1969).** A revision of the genus *Trichoderma*. Mycologia. Papers, 116 :1-56
153. **Rousselle P., Robert Y. and Crosnier J. C. (1996).** La pomme de terre, amélioration, ennemies, maladies et utilisation. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France : 607 p.
154. **Saadoune A. (2011).** Antagonisme des isolats algériens de *Trichoderma* sp. à l'égard des isolats algériens de *P.infestans* agent responsable du mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie. Thèse d'ingénieur. Université de Saad Dahleb, Blida, Algérie : 63 p.
155. **Schepers H. T. A. M. (2007).** Decision support systems for integrated control of late blight. Plant Breeding and Seed Science 50: 57-61.
156. **Sediqui M., Carroll R. B. and Morehart A. L. (1997).** First report from Morocco of *Phytophthora infestans* isolates with metalaxyl resistance. Plant Disease, 81: 831–834.
157. **Sen B. (2000).** Biocontrol : a success story. Indian phytopathol. 53(3): 243-249.
158. **Sharon E., Bar-Eyal M., Chet I., Herrera-Estrella A., Kleifeld O. and Spiegel Y. (2001).** Biocontrol of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. Phytopathology 91: 687–693.
159. **Shaw D. S. (1991).** Genetics of *Phytophthora infestans*. Advances in Plant Pathology, 7: 131–167.
160. **Sivan A., Ucko O. and Chet I. (1987).** Biological control of *Fusarium* crown rot of tomato by *Trichoderma harzianum* under field conditions. Plant Disease, 71: 587–592.
161. **Sliwka J., Jakuczun H., Lebecka R., Marczewski W., Gebhardt C. and Zimnoch-Guzowska E. (2006).** The novel major locus Rpi-phul for late blight resistance maps to potato chromosome IX and is not correlated with long vegetation period. Theoretical and Applied Genetics, 113: 685–695.
162. **Smart, C.D. and Fry, W.E. (2000).** Invasions by the late blight pathogen: renewed sex and enhanced fitness. *Biol. Invas.* 3: 235-243.
163. **Smoot J. J., Gough F. J., Lamey H. A., Eichenmuller J. J. and Gallegly M. E. (1958).** Production and germination of oospores of *Phytophthora infestans*. Phytopathology, 48: 165–171.
164. **Soltner D. (1998).** Les techniques culturales simplifiées, pourquoi ? Sciences et techniques agricoles. Sainte Gemmes sur Loire, France : 25p
165. **Soltner D. (1990).** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Collections Sciences et Techniques agricoles, Angers, France : 464 p.

166. **Song J., Bradeen J. M., Naess S. K., Raasch J. A., Wielgus S. M., Haberlach G. T., Liu J., Kuang H., Austin-Phillips S., Buell C. R., Helgeson J. P. and Jiang J. (2003).** Gene RB cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. *Proceeding of the National Academy Sciences of the United States of America*, 100: 9128–9133.
167. **Spielman L. M., MacMaster B. J. and Fry W. E. (1989).** Dominance and recessiveness at loci for virulence against potato and tomato in *Phytophthora infestans*. *Theoretical and Applied Genetics*, 77: 832–838.
168. **Spijkerboer H. P., Beniers J. E., Jaspers D., Schouten H. J., Goudriaan J., Rabbinge R. and van der Werf W. (2002).** Ability of the Gaussian plume model to predict and describe spore dispersal over a potato crop. *Ecological Modelling*, 155:1–18p.
169. **Starostins G. (1977).** La pomme de terre culture maraichères spéciales. Polycopié INA. Département de phytotechnie et agriculture générale laboratoire d'horticulture.
170. **Staskawic B. J., Ausubel F. M., Baker B. J., Ellis J. G. and Jones J. D. G. (1995).** Molecular genetics of plant disease resistance. *Science*, 268: 661–667.
171. **Therrien C. D., Ritch D. L., Sujkowski L. S., Spielman L. J., Fry W. E., Daggett S. S., Sim J. H. and Tooley P. W. (1993).** *Phytophthora infestans* in Poland from 1987-1989; nuclear DNA content, mating type distribution and response to metalaxyl. *Journal of Phytopathology*, 139: 68–80.
172. **Thrane C., Funck J. D. and Tronsmo A. (2000).** Colonisation du substrat, la concurrence souche, la production enzymatique in vitro, et de la lutte biologique par *Pythium ultimum* *Trichoderma spp.* isolé P₁ et T₃ ' *European Journal of Plant Pathology*, 106 : 215-225p.
173. **Thurston H. D. and Schltz O. (1981).** Late blight. Dans Hooker W J (Ed.) *Compendium of potato diseases*. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA: 40–42p.
174. **Tooley P. W., Sweigard J. A. and Fry W. E. (1986).** Fitness and virulence of *Phytophthora infestans* isolates from sexual and asexual population. *Phytopathology*, 76: 1209–1212.
175. **Turkensteen L. J. (1993).** Durable resistance of potatoes against *Phytophthora infestans*. Dans Jacobs Th, Parlevliet J E (Eds.) *Durability of Disease Resistance*. Springer-Verlag New York, LLC USA :115–124p.
176. **Van Achter A., Van Wambeke E. and Van Assche C. (1988).** Effectivity of Chemical Soil Fumigation and Vinclozolin or Iprodione Fungicide Treatment on Disease Control in Witloof Chicory Forcing Beds. *Meded.Fac.Landbouwwet.Univ.Gent* 45: 221-6.

177. **Van Der zaag D. F. (1985).** Production de la pomme de terre dans le monde. Tentative d'indiquer les facteurs limitant le rendement. *Cultivar* Paris: 204p
178. **Van Oigen M. (1991).** Identification of the major characteristics of potato cultivars which affect yield loss caused by late blight. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands: 116 p.
179. **Vartanian V. G. and Endo R. N. (1985).** Overwintering hosts, compatibility types, and races of *Phytophthora infestans* on tomato in southern California. *Plant disease*, 69: 516–519.
180. **Vinale F., Ghisalberti E. M., Marra R., Scala F., Barbetti M., Woo S. L., Ritieni A., Ferracane R., Sivasithamparam K. et Lorito M. (2007).** Role of Trichoderma secondary metabolites in plant growth promotion and in activation of plant defence genes. XIII International Congress on Molecular Plant-Microbes Interactions. July 21-27, 2007, Sorrento, Italy. Book of Abstracts 398p.
181. **Watsie R. L. (1991).** Breeding for resistance. Dans Ingram D S, Williams P H (eds.) *Advances in Plant Pathology*, Volume 7. Academic Press, London. :193–224p.
182. **Weidling R. et Fawcette H. S. (1934).** Experiments in biological control of *Rhizoctonia damping-off*. *Phytopath*, 24, 1142.
183. **Yedidia I., Benhamou N. and Chet I. (1999).** Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65: 1061–1070.
184. **Yedidia I., Benhamou N., Kapulnik Y. and Chet I. (2000).** Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the mycoparasite *Trichoderma harzianum* strain T-203. *Plant Physiol. Biochem.*, 38:863-873.
185. **Zanoune S. (2012).** Etude de l'activité antifongique des isolats algériens de *Trichoderma sp.* à l'égard de *Phytophthora infestans* agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie. Thèse de Maste II. Saad Dahleb Blida Algérie.
186. **Zhou T. and Reeleder R. D. (1991).** Colonization of bean flowers by *Epicoccum purpurascens*. *Phytopathology* 81: 774–778.
187. **Zwankhuien M. J. (1998).** Potato late blight epidemics and population structure of *Phytophthora infestans*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands: 147 p

Sites internet utilisés

<http://www.faostat.fao.org>

<http://www.fao.org>

<http://www.eucablight.org>

<http://www.renne.inra.fr>

Annexes

Annexes

Tableau 7. Données sur la variété de pomme de terre testée (Peeten *et al*, 2007)

Variété	Spunta
Caractéristiques	
Maturité	mi-précoce
Tubercule	Très gros allongée, peau jaune
Rendement	Elevé, calibre uniforme,
Germe	Grand, gros cylindrique et, radicelle abondantes et nombreuses
Date de certification	12.11.2010
Origine	Nederland
Calibre (mm)	35 – 55 mm
Type culinaire	B
Qualité culinaire	Bonne tenue à la cuisson, groupe culinaire B, très léger noircissement après cuisson, coloration à la friture : R.A.S

➤ **Composition du milieu de culture à base de petit pois**

Selon Hammi (2003), Le milieu petit pois est composé de :

- 140g de petit pois.
- 20g agar.
- 1000 ml d'eau distillée stérile.

➤ **Composition du milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar)**

Selon Peter Oei en Bram Van Nieuwenhizen (2005), le milieu est composé de :

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