

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE

Projet De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du
Diplôme De Master2 En Biotechnologie Des Plantes Aromatiques Et Médicinales Et
Les Produits Naturel

THEME

**Antagonisme *in vitro* de *Trichoderma* sp. à l'égard de *Phytophthora infestans*
Mont. de Bary. Agent causal du mildiou de la pomme de terre.**

Présenté par : **BENCHEIKH KHADIDJA**

Devant le jury composé de :

| | | | |
|---------------------------------|-----|------|--------------|
| Mme Houmani. Z | Pr | USDB | Présidente |
| Mme Moumene S. | MAA | USDB | Promotrice |
| Mr. Ali oussalah A. E.H. | MAA | USDB | Examineur |
| Mme Sahraoui .F | MAA | USDB | Examinatrice |

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012/2013

Résumé

Antagonisme *in vitro* de *Trichoderma* sp. à l'égard de *Phytophthora infestans* Mont. de Bary. Agent causal du mildiou de la pomme de terre.

Cette étude consiste à trouver une implication dans la lutte biologique comme une alternative à l'utilisation des substances chimiques à base de metalaxyl qui demeurent inefficaces contre les souches algériennes agressives A1 & A2 de *Phytophthora infestans* ; agent responsable du mildiou de la pomme de terre. Ainsi, l'étude du pouvoir antifongique *in vitro* de onze isolats algériens de *Trichoderma* a porté sur trois isolats collectés de deux zones productrices de pomme de terre Bourkika(Tipaza) et Attaf (Ain Defla) , purifiés et identifiés respectivement comme A2 et A1 par les travaux précédents, La technique de contact direct de ces isolats de *Trichoderma* sp. sur milieu à base de petits pois (PPA), a permis l'inhibition de la croissance mycélienne de *P. infestans in vitro*. Les taux d'inhibition enregistrés ont dépassé 50% Parallèlement, des modifications structurales, traduites par la lyse ou la vésiculation du mycélium, ainsi que la déformation ou la digestion du contenu des sporanges. La sporulation et, la germination ont été également très inhibées par ces isolats à (100%). De même, l'absence de reprise de croissance mycélienne sur milieu PPA et l'absence de développement des symptômes du mildiou sur feuilles détachées de la variété Spunta de la pomme de terre ont confirmé l'effet fongicide de ce dernier.

Mots clés : Activité antagoniste, *Phytophthora infestans*, *Trichoderma* sp

Abstract

***In vitro* antagonisms of *Trichoderma* sp. Against *Phytophthora infestans* mount. Of Bary. Causal agent of the mildew of the potato.**

This study consists in finding an implication in the biological fight as an alternative in the use of chemical substances with metalaxyl which remain ineffective against the aggressive algerian strains A1 and A2 of *Phytophthora infestans*; responsible agent for the mildew of the potato

So, the study of the *in vitro* antifungal power of eleven Algerian isolates of *Trichoderma* concerned three isolates collected from three producing zones of potato Bourkika (Tipaza) and Attaf , El Abadia (Ain Defla), cleansed and identified respectively as A2 and A1 by the previous works

The technique of direct contact of these isolates of *Trichoderma* sp. on pea medium (PPA), allowed the inhibition of the mycelial growth of *P .infestans in vitro*. The registered rates of inhibition overtook 50 % at the same time, structural modifications, translated by the lyses or the vesiculation of the mycelium, as well as the deformation or the digestion of the contents of sporangia. The sporulation and, the germination were also very inhibited by these isolates in (100 %). Also, the absence of resumption of mycelial growth on medium PPA and the absence of development of the symptoms of the mildew on detached leaves of Spunta potato's variety confirmed the fungicidal effect of *Trichoderma* isolates.

Keywords: activity antagonist, *Phytophthora infestans*, *Trichoderma* sp

ملخص

التضاد الحيوي للتريكودارما ضد فيتوفتورا انفستانس العامل المسبب لمرض الميلديو لنبات البطاطا

هذه الدراسة تكمن قبل ذلك في المكافحة البيولوجية كبديل لاستعمال المواد الكيميائية المرتكزة على الميتالاكسيل و التي ظهرت غير فعالة ضد سلالتين جزائريتين خطيرتين من فيتوفتورا انفستانس, العامل المسؤول عن مرض الميلديو للبطاطا. لهذا قمنا بدراسة الفعالية ضد فطرية في المخبر و في الوسط الحي على ثلاث معازل من منطقتين منتجتين للبطاطا بوركليكة (تبيازة)، العطاف، والعبادية (عين الدفلى)، عرفا على الترتيب ك 1 و 2 خلال أعمال سابقة..

طريقة التماس المباشر بين السلالات المرضية و سلالات الضد تريكودارما في الوسط الغذائي المكون من البزلاء، أثبتت قدرة تريكودارما على منع نمو الغزل الفطري لفيتوفتورا انفستانس بنسبة 50% و في نفس الوقت هناك تغيرات بنيوية للفطر ترجمت في تكسير نمو الغزل الفطري. وأيضا تغير في شكل أو هضم مكونات الامشاج بنسبة 100%

تريكودارما منعت انتاش ونمو الغزل الفطري وعدم ظهور أعراض المرض. على الأوراق المنفصلة لنبته البطاطا نوع سبونتيا . أثبتت قدره ضد فطرية للتريكودارما.
الكلمات الدالة: فيتوفتورا انفستانس, تريكودارم التضاد الحيوي

REMERCIEMENTS

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

Je tiens à remercier particulièrement ma promotrice Mme Moumene Saida. Qui ma fait l'honneur de
diriger ce travail de thèse. Pour votre accueil et votre soutien continu. Votre gentillesse, et votre
dynamisme m'ont chaque fois permis de rebondir dans les moments difficiles. Je vous remercie vivement
pour l'aide scientifique précieuse et tous les conseils qu'elle a pu me fournir. Que dieu la protège

Je tiens à avouer

sincèrement ma profonde gratitude à Madame Homani. Z Professeur
à la Faculté des Sciences agronomique, de l'honneur qu'elle me fait d'avoir accepté de présider le jury de
ma thèse.

A notre Jury de Thèse,

Monsieur Ali Oussalah. A.H Qui ma fait l'honneur d'être examinateur de ce travail de thèse.

Qu'il trouve ici l'expression de mes plus sincères et chaleureux remerciements.

Madame Sahraoui. F Qui ma fait l'honneur d'être examinatrice de ce travail de thèse.

Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde considération.

Monsieur Belatrache. M, Qui ma fait l'honneur de participer à notre travail. Qu'il trouve ici l'expression de
mon attachement respectueux.

Mes sincères remerciements pour ma collègue et ma meilleure amie Saddek Dounia pour son aide
précieuse et sa participation pour la réalisation de ce modeste travail. J'ai beaucoup apprécié leurs qualités
humaines et les échanges scientifiques et culturels que nous avons eus grand merci dounia.

Je profite de cette occasion d'exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur
Fayçal Djebaili, le Directeur de la station Régionale de la protection des végétaux de Boufarik
pour les encouragements et les conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer durant mes Travaux.

Dedicaces

Je dédie ce travail à

Mon adorable mère, qui est toujours présente et continue de l'être pour faire mon bonheur. Merci pour être sacrifiée pour que ces enfants grandissent et prospèrent. Que dieu la protège et lui donne bonne santé et qu'elle trouve ici la preuve de ma reconnaissance infinie et d'un profond amour.

A mon père Rachid je n'oublierai, jamais ton soutien pour moi et surtout ta bonne éducation.

A mes chères sœurs. Surtout ma sœur Dalila qu'elle trouve ici toute ma gratitude pour son encouragement tout au long de mes études.

Mes frères pour leur disponibilité, leur soutien moral, leur encouragement Incessant.

A mes oncles , cousins et cousines

A mes tantes. Surtout la meilleure Ghania qu'elle trouve ma gratitude de votre soutien et votre gentillesse.

A monsieur Ben Saada Hadj et sa petite famille.

A tous mes collègues (cadres & ouvriers) de La station régionale de la protection des végétaux de Boufarik

A toute la famille Bencheikh, Famille Cherair, la famille Hamdaoui, et la Famille Nebih

A tous ceux qui me sont chers et ceux et celles qui m'aiment et qui ont été présents pour me soutenir.

INTRODUCTION

Le mildiou de la pomme de terre causé par *Phytophthora infestans*, reste la maladie la plus redoutable sur la pomme de terre. En conditions environnementales favorables et en absence de protection par les fongicides, il peut anéantir le feuillage en quelques semaines. Son développement est donc intimement lié aux conditions climatiques. Le climat doux et humide, fréquemment rencontré sous nos latitudes, est généralement responsable des épidémies (César et al., 2011).

Cependant, la lutte chimique reste la plus utilisée (Beninal, 2011) mais, ne donne pas une grande satisfaction aux agricultures, avec l'apparition des souches agressives résistantes, les inconvénients engendrés par ces produits chimiques, tels que les risques de pollution des milieux, la dégradation lente des matières actives employées, leur effet phytotoxique, ainsi que leur accumulation dans les plantes et les produits agricoles (Dunphy et Tebilus, 1992).

En effet, la lutte biologique contre les maladies phytopathogènes est encore au stade de l'expérimentation à grande échelle. Toutefois, il semble que l'addition de procédés biologiques aux procédés chimiques et culturels classiques peut augmenter les chances de maîtrise et de contrôle de la maladie. Par ailleurs, les travaux de Baker (1988) et de Lynch et al. (1991a) ont montré que certaines souches du *Trichoderma* semblaient exercer une action stimulatrice sur la croissance de certaines plantes. Dans ce cadre, Lynch et al. (1991a, 1991b) ont étudié l'effet du *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et son aptitude à lutter contre *Rhizoctonia solani* Kühn. et *Pythium ultimum* Trow. Ils ont aussi démontré l'effet de certaines souches du *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et la germination des graines en absence de tout agent pathogène

Dans ce contexte de lutte microbiologique, l'objectif de ce présent travail est l'antagonisme *in vitro* de *Trichoderma sp.*, à l'égard de *Phytophthora infestans* Mont. de Bary. agent causal du mildiou de la pomme de terre. Il repose sur le pouvoir inhibiteur des antagonistes *in vitro* sur la croissance mycélienne, la sporulation, et la germination du phytoparasite, ainsi que les événements du mycoparasitisme et la survie de *P. infestans* après confrontations.

Liste des abréviations

% : pour cent

°C : degré Celsius

µm : micromètres

A1 : souche de *Phytophthora infestans* du type sexuel A1 isolée de la région de Bouira.

A2 : souche de *Phytophthora infestans* du type sexuel A2 isolée de la région de Bourkika.

cm : centimètres

ddl : nombre de degrés de liberté

DT : Diamètre de la croissance mycélienne du champignon témoin

Dt : Diamètre de la croissance mycélienne du champignon traité

FAO: Food and Agriculture Organization

G : X500 : au grossissement 500 sous microscope photonique

g: gramme.

GLM: General Linear Model

Gr x 125 : au grossissement 125 sous microscope photonique

Gr x 1250 : au grossissement 1250 sous microscope photonique

ha : hectares

I : Taux d'inhibition de la croissance en %.

IG : Taux d'inhibition de la germination en %.

Inc : le taux d'incidence de la maladie en %.

Inf (t): Taux d'infection des feuilles traitées en %

Inf T : Taux d'infection des feuilles témoins positifs en %.

Inf : Taux d'infection des feuilles en %.

IS : Taux d'inhibition de la sporulation en %.

Km² : Kilomètres carrés

m : mètres

ml : millilitres

mm : millimètres

NPA : Concentration en sporanges de l'inoculum confronté à l'antagoniste

NT : Concentration en sporanges germés de l'inoculum témoin

P. infestans : *Phytophthora infestans*

T. sp : *Trichoderma sp*

PPA : milieu de culture à base de petits pois Agar.

q/ha : quintaux sur hectare

S. berthaultii : *Solanum berthaultii*

S. bulbocastanum : *Solanum bulbocastanum*

S. demissum: *Solanum demissum*

S. phureja : *Solanum phureja*

S. tuberosum: *Solanum tuberosum*

S1 : Souche 1 de *Phytophthora infestans*

S2 : Souche 2 de *Phytophthora infestans*

S3 : Souche 3 de *Phytophthora infestans*

ST : Concentration en sporanges de l'inoculum témoin

St : Concentration en sporanges de l'inoculum traité

USA : Etats Unis

Vers : Version

Liste des figures

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1. Morphologie de la pomme de terre | 3 |
| Figure 2. Cycle végétatif de la pomme de terre | 4 |
| Figure 3. Classement des cultures les plus importantes en Algérie année 2010 | 6 |
| Figure 4. Aspect cultural d'un isolat Algérien de <i>Phytophthora infestans</i> sur milieu gélosé à base de pois..... | 10 |
| Figure 5. Morphologie (1) de <i>P. infestans</i> (G : X500) (Ahmed- serrir et Moussaoui, 2011) Morphologie de l'oospore(2) de <i>P. infestans</i> | 11 |
| Figure 6. Symptômes du mildiou sur plants de pomme de terre au champ | 13 |
| Figure 7. Cycle de développement du mildiou | 14 |
| Figure 8. Sections systématiques de <i>Trichoderma sp.</i> et quelques espèces agrégées..... | 18 |
| Figure 9. Aspect cultural (A) et morphologique (B) (G : 10X40) de <i>Trichoderma sp.</i> | 19 |
| Figure 10. Aspect cultural et morphologie des isolats de <i>Trichoderma sp</i> étudiés. (Gr x 40)..... | 23 |
| Figure 11. Aspect cultural et morphologie du <i>Phytophthora infestans</i> (Gr x40)..... | 24 |
| Figure 12. Technique de confrontation directe de <i>Phytophthora infestans</i> et de <i>Trichoderma sp.</i> | 26 |
| Figure 13. Technique d'étude de la survie sur milieu PPA..... | 29 |
| Figure 14. L'étude de la survie <i>in vivo</i> de <i>P. infestans</i> | 30 |
| Figure 15. Analyse de la variance en modèle GLM de la croissance mycélienne de <i>P. infestans</i> à l'égard des isolats de <i>Trichoderma sp.</i> | 33 |
| Figure 16. Evènements structuraux du mycoparasitisme | 34 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 17. Survie des isolats de <i>P. infestans</i> après confrontation directe aux isolats de <i>Trichoderma</i> sp..... | 35 |
| Figure 18. Analyse de la variance en modèle GLM des taux d'inhibition de la croissance mycélienne selon les isolats de <i>P. infestans</i> et les isolats de <i>Trichoderma</i> sp..... | 35 |
| Figure 19. Symptômes développés par les isolats témoins de <i>P. infestans</i> et ceux préalablement inhibés par les isolats de <i>Trichoderma</i> sp..... | 36 |
| Figure 20: Analyse de la variance en modèle GLM des taux de réduction de la maladie (%) selon les isolats phytopathogènes de <i>P. infestans</i> et les isolats antagonistes de <i>Trichoderma</i> sp..... | 37 |

Liste des tableaux

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1. Classement des dix premiers pays producteur de pomme de terre dans le monde année 2008 | 5 |
| Tableau 2. Bilan global de production de la pomme de terre de consommation et de multiplication durant la campagne 2009/2010..... | 7-8 |
| Tableau 3. Principales maladies et principaux parasites limitant la culture de la pomme de terre | 9 |
| Tableau 4. Données relatives sur les isolats antagonistes du genre <i>Trichoderma</i> | 22 |
| Tableau 5. Analyse de la variance des taux d'inhibition de la croissance mycélienne ,de la sporulation et de la germination des isolats de <i>P. infestans</i> après confrontation aux isolats de <i>Trichoderma</i> sp..... | 32 |
| Tableau.6 Analyse de la variance des taux d'inhibition de la sporulation des isolats de <i>P .infestans</i> après confrontation directe des isolats de <i>Trichoderma</i> sp..... | 35 |
| Tableau.7 Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie selon les isolats de <i>P. infestans</i> et les isolats de <i>Trichoderma</i> sp..... | 36 |

Sommaire

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| Introduction | 1 |
| Chapitre I: Partie Bibliographique | |
| 1.1 Aperçu sur la pomme de terre | 2 |
| 1.2 Généralités sur l'agent phytopathogènes..... | 10 |
| 1.4 La lutte contre le mildiou de la pomme de terre..... | 16 |
| 1.5 .Aperçu sur les <i>Trichoderma</i> sp..... | 17 |
| Chapitre II : Matériel et Méthodes | |
| 2. Introduction | 21 |
| 2.1.Matériel Biologiques..... | 21 |
| 2.2.Méthodologie..... | 25 |
| 2.3 Evènements structuraux du mycoparasitisme..... | 27 |
| 2.4 Survie des isolats de <i>P. infestans</i> | 27 |
| 2.5 Analyse statistique..... | 30 |
| Chapitre III : Résultats et Discussion | |
| 3.1.Résultats..... | 32 |
| 3.2. Discussion..... | 40 |
| Conclusion..... | 41 |
| Références bibliographiques..... | 42 |
| Table des matières | |
| Annexe | |

Table Matière

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Introduction | 1 |
| Chapitre I: Partie Bibliographique | |
| 1.1 Aperçu sur la pomme de terre | 2 |
| 1.1.1 Description botanique..... | 2 |
| 1.1.2 Historique..... | 3 |
| 1.1.3 Exigences culturales..... | 3 |
| 1.1.4 Cycle biologique de développement..... | 4 |
| 1.1.5 Importance économique | 4 |
| 1.1. Problèmes phytosanitaire..... | 8 |
| 1.2 Généralités sur l'agent phytopathogènes..... | 10 |
| 1.2.1 Systématique..... | 10 |
| 1.2.2 Aspect cultural de <i>Phytophthora infestans</i> | 10 |
| 1.2.3 Morphologie..... | 11 |
| 1.2.4 Spécificité parasitaire..... | 12 |
| 1.3 Généralités sur la maladie..... | 12 |
| 1.3.1 Historique..... | 12 |
| 1.3.2. Symptômes | 12 |
| 1.3.3. Importance économique de la maladie..... | 13 |
| 1.3.4. Cycle biologique de la maladie | 14 |
| 1.4. Lutte contre le mildiou de la pomme de terre..... | 15 |
| 1.4.1. Méthodes préventives et prophylactiques | 15 |
| 1.4.2. Lutte chimique..... | 15 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.3. Lutte génétique | 15 |
| 1.4.4. Lutte biologique..... | 16 |
| 1.5. Aperçu sur les <i>Trichoderma</i> sp..... | 17 |
| 1.5-1 Taxonomie | 17 |
| 1-5-2.Caractérisation culturelle et morphologique..... | 18 |
| 1.5.3. Ecologie..... | 19 |
| 1.5.4. Intérêt de l'utilisation de <i>Trichoderma</i> sp. dans l'agriculture biologique | 20 |

Chapitre II : Matériel et Méthodes

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. Introduction | 21 |
| 2.1 Matériel biologique..... | 21 |
| 2.1.2 Matériel végétal..... | 25 |
| 2.2 Méthodologie..... | 25 |
| 2.2.1 Activité antagoniste des isolats de <i>Trichoderma</i> sp. vis-à-vis des isolats de <i>P. infestans</i> | 25 |
| 2.2.2 Evènements structuraux du mycoparasitisme..... | 28 |
| 2.2.3 Survie des isolats de <i>P. infestans</i> | 28 |
| 2.2.4 Analyse statistique | 31 |

Chapitre III : Résultats et Discussion

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Résultats..... | 32 |
| 3.1.1 Activité antagoniste <i>in vitro</i> des isolats de <i>Trichoderma</i> sp. vis-à-vis de <i>P.infestans</i> | 32 |
| 3.1.2 Evènements structuraux du mycoparasitisme | 33 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.3 Survie des isolats <i>Phytophthora infestans</i> | 34 |
| 3.2. Discussion..... | 38 |
| Conclusion..... | 41 |
| Références bibliographiques..... | 42 |
| Table des matières | |
| Annexe | |

2 Introduction

Le présent travail s'est déroulé dans la station régionale de la protection des végétaux de Boufarik (SRPV), wilaya de Blida. Il est basé sur le pouvoir antagoniste des isolats algériens du genre *Trichoderma* à l'égard des isolats de *P. infestans*. Il a nécessité l'utilisation d'un matériel biologique sur la base d'une méthodologie rigoureuse.

2.1 Matériel biologique

Le matériel biologique est représenté par le matériel fongique et le matériel végétal.

2.1.1 Matériel fongique

Notre travail repose sur l'utilisation de onze isolats antagonistes de *Trichoderma* sp. (Tableau 4), dont six isolats ont été prélevés de la rhizosphère des zones productrices de la pomme de terre, ayant fait l'objet de mémoire de fin d'étude de Hasni (2012) et, cinq autres isolats, ayant fait l'objet d'un projet de recherche Duras sur la biodiversité des nématodes et les champignons nématophages des cultures maraîchères (2005/2008) (Moumene et *al.*, 2008).

Les isolats antagonistes (Figure 10) purifiés et conservés à l'abri des contaminations ont tous été produits en masse sur milieu Extrait de Malt-agar (Composition voir annexe) et incubés à une température de 28°C pendant 2 semaines (Djafer, 2011 ; Saadoune, 2011).

Tableau 4 : Données relatives sur les isolats antagonistes du genre *Trichoderma*

| Lieu de prélèvement | | Substrat | Date de prélèvement | Code de l'isolat |
|---------------------|-----------|------------------------------------------------------|---------------------|------------------|
| Wilaya | Commune | | | |
| Alger | Staoueli | Tomate industrielle | 2009 | 1 |
| Mostaganem | Stidia | Sol de Pomme de terre | 03 Mars 2011 | 2 |
| Alger | Zéralda | Sol de Pomme de terre (Spunta) | 08 Mars 2011 | 3 |
| Tipaza | Fouka | Masse d'œufs des méloïdogyne (Culture maraichère) | 2009 | 4 |
| Ain Defla | Amra | Sol de Pomme de terre | 12 Avril 2011 | 5 |
| Bechar | Abadla | Sol de Pomme de terre | 2011 | 6 |
| Tipaza | Bourkika | Sol de Pomme de terre (Désiré) | 05 Avril 2011 | 7 |
| Skikda | Collo | Masse d'œufs des méloïdogyne (Courgette) | 2009 | 8 |
| Mascara | Mascara | Tubercule de pomme de terre | 2009 | 9 |
| El Oued | El Oued | Masse d'œufs des méloïdogyne (Culture maraichère) | 2008 | 10 |
| Ain Defla | El abadia | Sol de Pomme de terre | Avril 2011 | 11 |

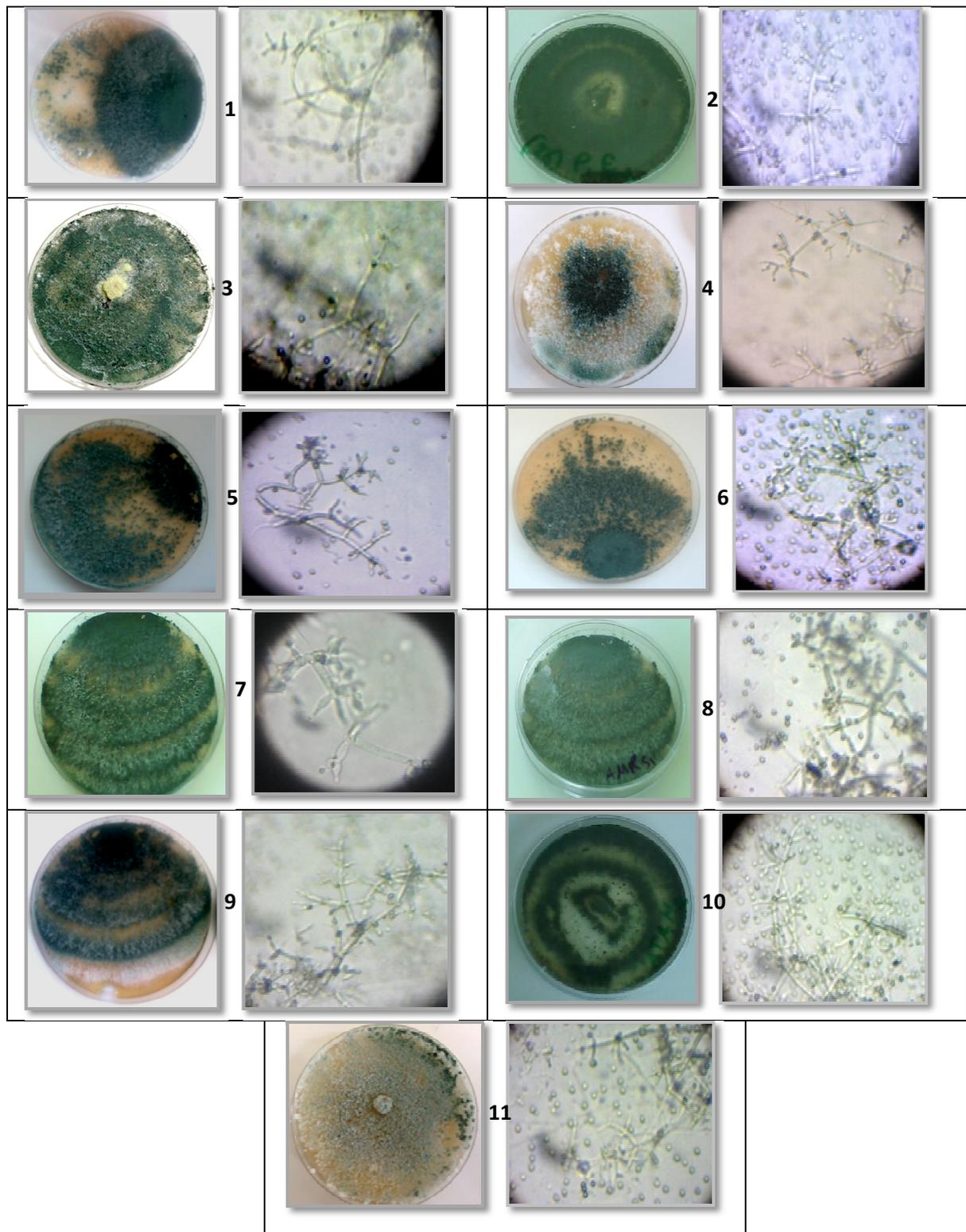


Figure 10. Aspect cultural et morphologie des isolats de *Trichoderma* sp. étudiés (Grossissement x500).

D'autre part, trois isolats phytopathogènes purifiés de *Phytophthora infestans* (Figure 11) prélevés des zones productrices de la pomme de terre des régions d' El abadia (Ain Defla) (S1) , Bourkika (Tipaza)(S2) et El attaf (Ain Defla) (S3) et identifiés respectivement comme A1 pour S1 et A2 pour S2 et S3, ont été entretenus par repiquage sur milieu à base de petits pois (PPA) et incubés à 20°C pendant 20 jours (Ahmed-serrir et Moussaoui,2011 ; Bachir,2011 ; Saadoune,2011) pour faire l'objet de notre étude.

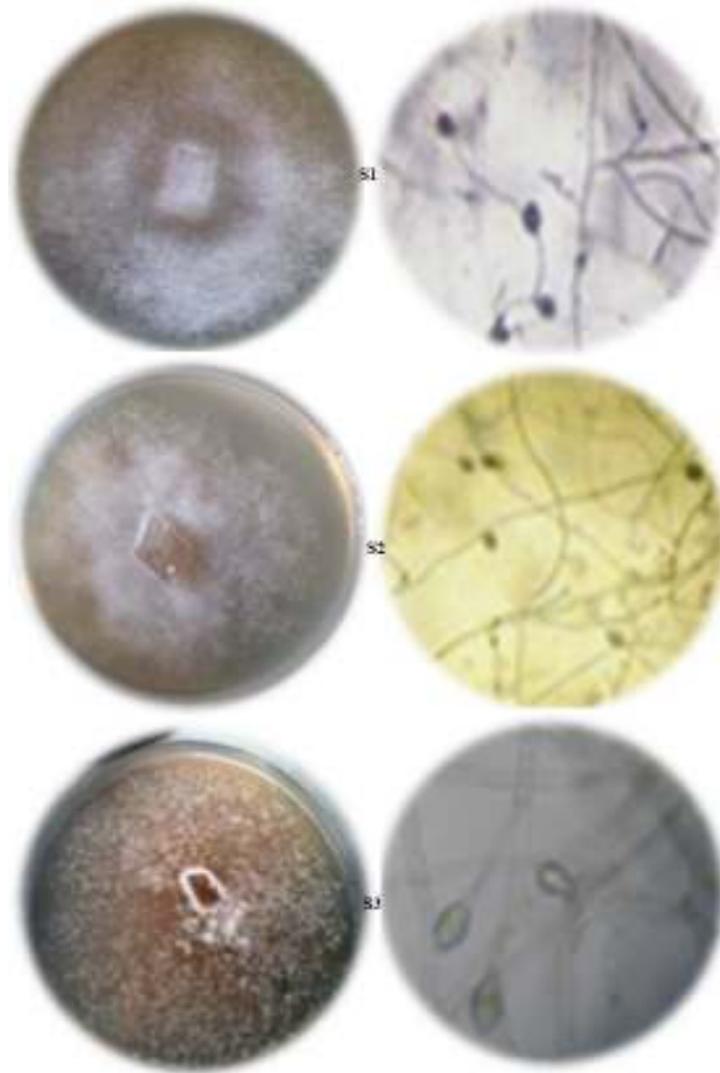


Figure11. Aspect cultural et morphologie des isolats de *Phytophthora infestans* (Gr x500)

2.1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal est représenté par les feuilles détachées saines récoltées des plants sains de la variété Spunta de pomme de terre, cultivés dans une parcelle expérimentale de la SRPV de Boufarik.

2.2 Méthodologie

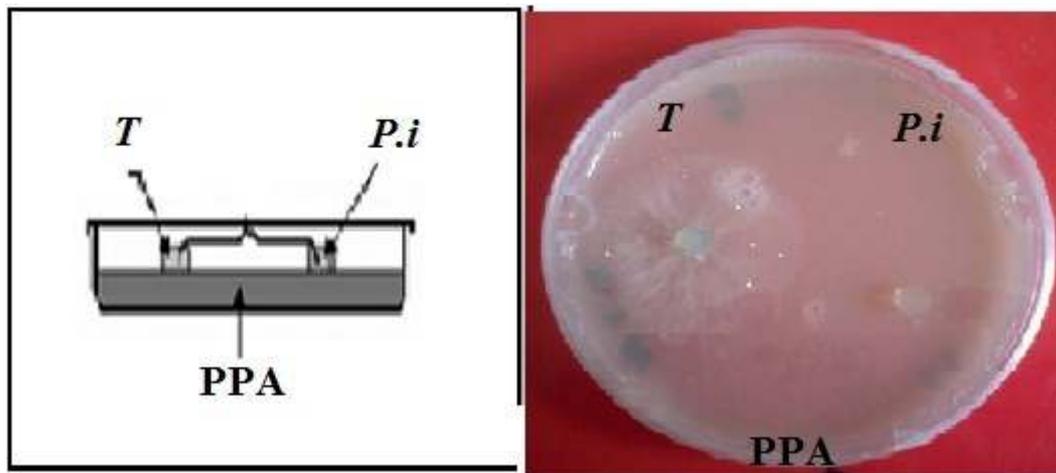
La méthodologie suivie comporte quatre étapes essentielles :

- Activité antagoniste *in vitro* des isolats de *Trichoderma* sp. vis-à-vis de *P. infestans*,
- Evènements structuraux du mycoparasitisme,
- Survie de *P. infestans* après antagonisme.
- Analyse statistique

2.2.1 Activité antagoniste des isolats de *Trichoderma* sp. vis-à-vis des isolats de *P. infestans*

L'activité antagoniste *in vitro* a été basée sur la confrontation directe et a porté sur l'inhibition de la croissance mycélienne, la sporulation et la germination des isolats phytopathogènes de *P. infestans*, où cinq répétitions ont été prises en considération pour chaque paramètre étudié. Cette étude a nécessité l'utilisation d'un matériel fongique et la préparation du milieu à base de petits pois (Composition voir Annexe).

La technique de **confrontation directe** décrite par Pandey et *al.* (1982) consiste à placer dans une boîte de Pétri contenant le milieu PPA, deux explants de 5 mm de diamètre, l'un de l'inoculum phytopathogène et l'autre de celui de l'antagoniste, à 40 mm de distance l'un de l'autre, symétriquement par rapport au centre de la boîte (Figure 12). Pour le témoin, l'explant du phytopathogène a été déposé au centre de la boîte. L'incubation se fait dans une étuve réglée à 18°C et à l'obscurité pendant 07 jours.



T : explant de Trichoderma
 P.i : explant de *P. infestans*

Figure 12. Technique de confrontation directe de *Phytophthora infestans* et de *Trichoderma* sp.

En effet, la croissance mycélienne a été estimée quotidiennement, pendant une durée d'incubation de sept jours, à raison de cinq répétitions, en calculant la moyenne des deux diamètres mesurés sur deux axes perpendiculaires tracés au revers des boîtes de culture.

Ainsi, les taux d'inhibition de la croissance mycélienne ont été déterminés pour chaque isolat de *P. infestans* selon la formule décrite par Sy (1976) et Rollan et al. (1999) in Ibarra-Medina et al. (2010) :

$$I (\%) = \frac{(DT - DPA)}{DT} \times 100$$

- IC : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne en %.
- DT : croissance mycélienne de l'agent phytopathogène témoin (mm).
- DPA : croissance mycélienne de l'agent phytopathogène confronté à l'antagoniste (mm).

Par ailleurs, les taux d'inhibition de la sporulation ont été déterminés après une période d'incubation de 20 jours de croissance des isolats de *P. infestans* en confrontation directe. Ce qui consiste à verser 10 ml d'eau distillée stérile dans chaque boîte de culture d'isolat de *P. infestans* puis, racler cette dernière à l'aide d'une pipette pasteur stérile pour récupérer les suspensions sporangiales dans des tubes à essai stérilisés. Ces derniers ont été soumis à l'agitation à l'aide d'un agitateur de tubes vortex. Les suspensions sporangiales de chaque isolat phytopathogène issues de la confrontation directe, ainsi que celles des isolats témoins ont fait l'objet de détermination de la concentration en sporanges par le biais d'une cellule de Malassez sous microscope optique. Ainsi, les taux d'inhibition de la sporulation ont été déterminés pour chaque isolat de *P. infestans* selon la formule décrite par Hmouni et al.(1996) in Hibar et al.,(2005) :

$$IS(\%) = \frac{(ST - St)}{ST} \times 100$$

- **IS** : Taux d'inhibition de la sporulation en %.
- **ST** : Concentration en sporanges de l'inoculum témoin (nombre de sporanges/ml).
- **St** : Concentration en sporanges de l'inoculum confronté à l'antagoniste (nombre de sporanges/ml).

D'autre part, la détermination des taux d'inhibition de la germination repose sur la préparation de suspensions sporangiales de l'ordre de 10^5 sporanges /ml pour chaque isolat de *P. infestans* et de suspensions conidiennes de l'ordre de 10^5 spores /ml pour chaque isolat antagoniste. Dans des boîtes de Pétri à milieu eau-agar à 15%, 0,1 ml des deux suspensions (sporangiale et conidienne) ont été successivement étalées et ceci séparément pour chaque isolat.

Aussi pour les témoins, les isolats antagonistes ont été substitués par de l'eau distillée stérile. L'incubation se fait durant 20 h à 18°C et à l'obscurité, le pourcentage d'inhibition de la germination IG a été déterminé pour les trois isolats de *P. infestans* à raison de trois répétitions pour chaque isolat, en utilisant la formule décrite par Berber et al.,(2009) :

$$IG(\%) = \frac{(NT - NPA)}{NT} \times 100$$

- **IG** : Taux d'inhibition de la germination en %.
- **NT** : Concentration en sporanges germés de l'inoculum témoin (nombre de sporanges germés/ml).
- **NPA** : Concentration en sporanges germés de l'inoculum confronté à l'antagoniste (nombre de sporanges germés/ml).

2.2.2 Evènements structuraux du mycoparasitisme

Le comportement parasitaire des antagonistes fongiques a été mis en évidence par la technique de Camporota (1985). Les cultures des isolats de *P. infestans* en confrontations directes ont fait l'objet d'observations microscopiques de la zone d'interpénétration des deux colonies afin de connaître l'impact du mycoparasitisme sur la morphologie des isolats de *P. infestans* par observation directe des cultures au grossissement (X125).

2.2.3 Survie des isolats de *P. infestans*

L'étude de la survie de *P. infestans* préalablement confronté aux isolats antagonistes du genre *Trichoderma* a été menée *in vitro* sur milieu à base de petits pois et parallèlement *in vivo* sur feuilles détachées de pomme de terre.

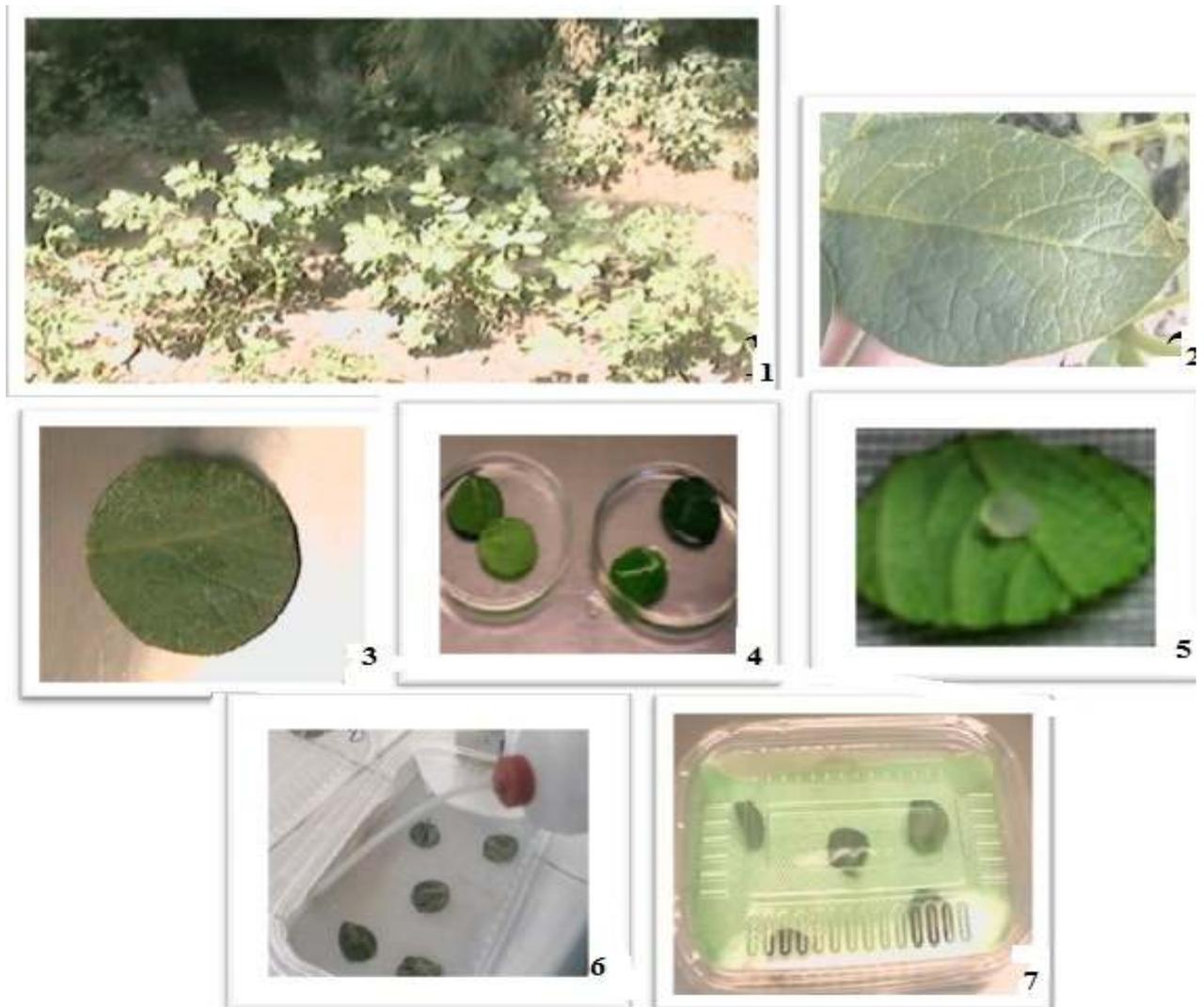
Afin de confirmer l'effet fongistatique ou fongicide des isolats antagonistes, on s'est basé sur la technique modifiée de Mahanta et al. (2007) qui, repose sur la reprise ou non de la croissance mycélienne des isolats de *P. infestans* inhibés par les isolats de *Trichoderma* sp. après confrontations directes.

Pour cela, les isolats phytopathogènes de *P. infestans* inhibés par les isolats antagonistes ont été transplantés par repiquages sur milieu PPA frais à raison de quatre explants de 5 mm de diamètres par boîte (Figure13). L'incubation des boîtes ainsi préparées s'est faite à 18 °C et, à l'obscurité. La reprise ou l'inhibition de la croissance ont été suivies jusqu'à 20 jours (Hibar et al., 2005).



Figure 13. Technique d'étude de la survie *in vitro* de *P. infestans*

L'étude de la survie des isolats de *P. infestans* préalablement confrontés aux isolats antagonistes sur feuilles détachées est basée sur la technique de Nyassé et *al.* (1995). Elle consiste à prélever des feuilles saines détachées des plants de la variété Spunta de pomme de terre cultivées au champ. Les feuilles sélectionnées étaient les plus développées et approximativement du même âge (Figure 14), puis découpées en petits disques uniformes à l'aide d'un emporte-pièce. Ces derniers ont été lavés, désinfectés à l'eau de javel à 2% puis rincés avec de l'eau distillée stérile. Après séchage, ces derniers ont été placés dans des boîtes en plastiques transparentes contenant du papier filtre humidifié, et du grillage en plastique à la taille des boîtes. Cinq disques foliaires ont été déposés par boîte, la face inférieure vers le haut. L'inoculation se fait par dépôt d'explant (5mm de diamètre) d'inoculum phytopathogène préalablement confronté par disque foliaire (Figure 6). L'incubation se fait à 18°C pendant quatre jours. La lecture a porté sur la présence ou l'absence de symptômes du mildiou sur disque foliaire.



1. Parcelle expérimentale de pomme de terre
2. Feuille de la variété Spunta
3. Disque foliaire
4. Désinfection des disques foliaires
- 5 et 6. Inoculation des disques foliaires par *P. infestans*
7. Incubation des boites à 18°C.

Figure14. L'étude de la survie *in vivo* de *P. infestans*

2.2.4 Analyse statistique

L'activité antagoniste des isolats de *Trichoderma* sp. a été basée sur la détermination des taux d'inhibition de la croissance, la sporulation et la germination des isolats de *P. infestans*. Les répétitions ont été résumées par le calcul de la moyenne dans l'Excel, puis le calcul du pourcentage d'inhibition selon les formules précitées.

Afin de vérifier une éventuelle efficacité des antagonistes fongiques testés et pour la comparaison entre les souches antagonistes de *Trichoderma* sp. et les isolats phytopathogènes de *P. infestans*, nous avons utilisé le logiciel SYSTAT, ver. 12, SPSS 2009, en déterminant la variance à l'aide du GLM (General Linear Model), les différences ont été considérées significatives à $P \leq 0,05$ (Philippeau, 1989).

3 Résultats et Discussion

3.1 Résultats

3.1.1 Activité antagoniste *in vitro* des isolats de *Trichoderma* sp. vis-à-vis de *P. infestans*

L'activité antagoniste des isolats du genre *Trichoderma* a porté sur la croissance, la sporulation et la germination.

L'analyse de la variance des taux d'inhibition de la croissance mycélienne, de la sporulation et de la germination des isolats de *P. infestans* confrontés aux isolats de *Trichoderma* sp. n'a pas montré de différence significative (Tableau 5).

Tableau 5. Analyse de la variance des taux d'inhibition de la croissance mycélienne, de la sporulation et de la germination des isolats de *P. infestans* après confrontation aux isolats de *Trichoderma* sp.

| Mode | Facteurs | Somme des carrés | d.d.l. | Carrés moyens | F-ratio | P |
|-------------|-------------|------------------|--------|---------------|---------|-------|
| Croissance | Antagoniste | 608.338 | 10 | 60.834 | 0.676 | 0.734 |
| Sporulation | Antagoniste | 0.000 | 10 | 0.000 | 1.000 | 0.476 |
| Germination | Antagoniste | 10.173 | 10 | 1.017 | 1.000 | 0.476 |

En modèle GLM, les taux d'inhibition enregistrés ont atteint 60% pour la croissance mycélienne, 90% pour la germination et la sporulation où les taux d'inhibition enregistrés étaient plus marqués sur S2 (75%), par degré moindre sur S1 (66%) mais faibles sur S3 (40%) (Figure 15 D et 15 E).

Le classement des isolats efficaces de *Trichoderma* sp. a été établi dans l'ordre décroissant suivant :

- Selon les taux d'inhibition de la croissance mycélienne dépassant les 44%, on distingue : T1 (67%), T2 (67%), T3(61%). T4 (63%), T5(60%), T6 (62%), T7(53%), T8(58%), T9(53%) T10 (61%), T11 (61%) (Figure15A).
- Selon les taux d'inhibition de la sporulation avoisinant ou dépassant 98%, on distingue : T1(99%), T2(99%), T3(99%), T4(99%), T5(99%), T6(99%), T7(99%), T8(99%), T9(99%), T10(99%) ,et T11(99%) (Figure15B).
- Selon les taux d'inhibition de la germination dépassant 98%, c'est l'ensemble des isolats antagonistes (Figure15C).

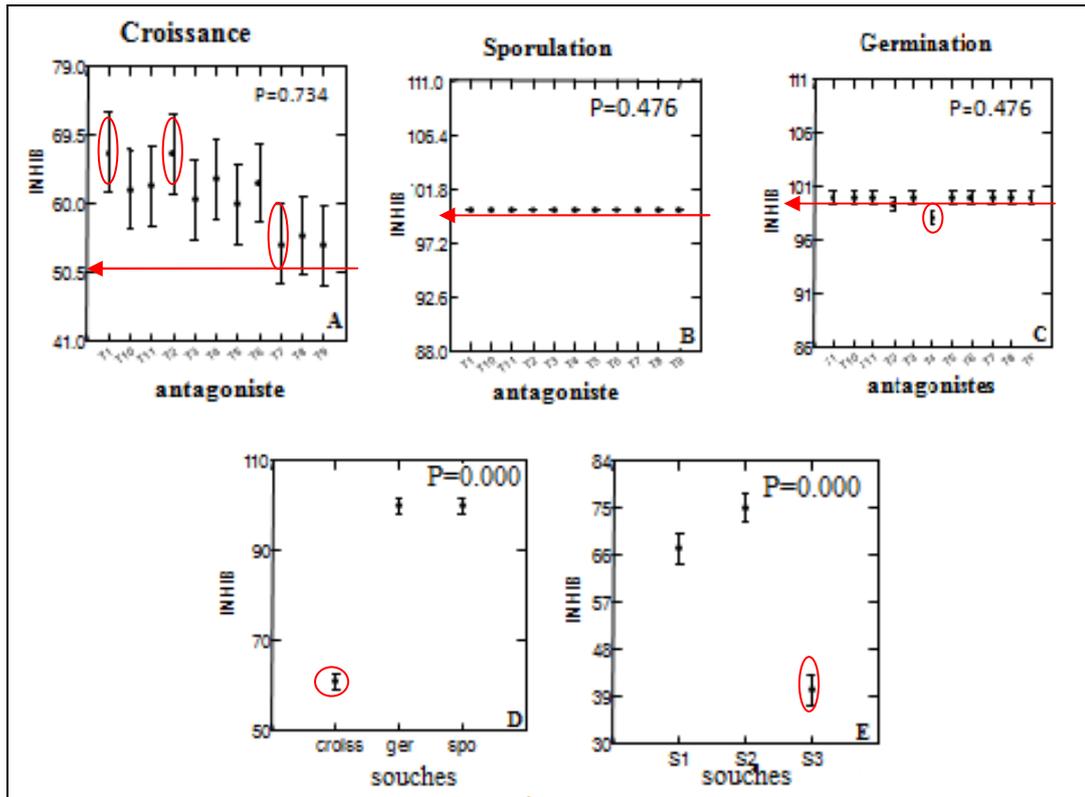
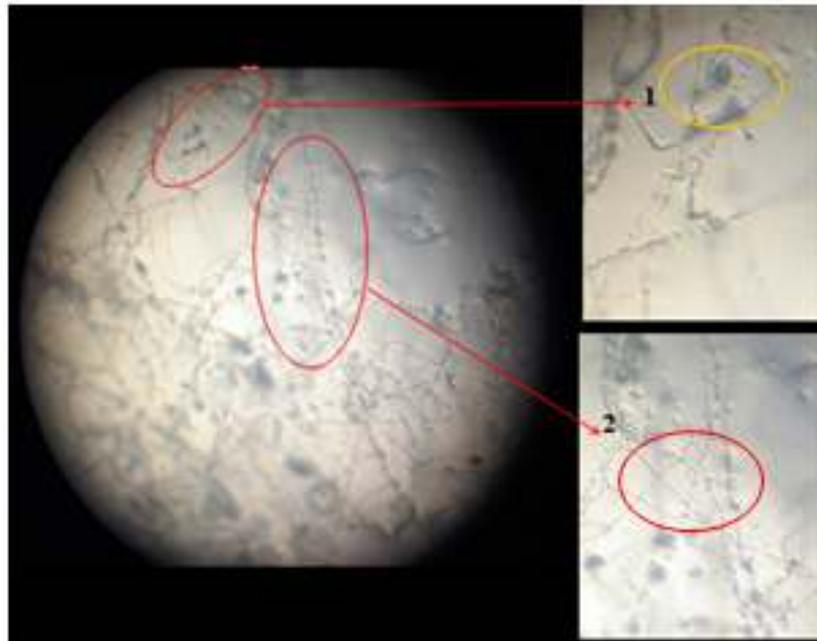


Figure 15. Analyse de la variance en modèle GLM des taux d’inhibition de la croissance mycélienne, de la sporulation et de la germination(%) (D) selon les isolats de *P. infestans* (E) et les isolats antagonistes du genre *Trichoderma* (A,B,C)

3.1.2 Evènements structuraux du mycoparasitisme

Des modifications structurales ont affecté la morphologie des isolats de *P. infestans* (Figures16.1&16.2) sous l’effet antagoniste des isolats de *Trichoderma* sp. Ces dernières sont traduites par la réduction du diamètre, la lyse et la vésiculation du mycélium (Figure16.1) ainsi que la déformation et la digestion du contenu des sporanges (Figure16.2).



1. Déformation des sporanges
2. Lyse du mycélium

Figure 16 : Evènements structuraux du mycoparasitisme (Gr :x 500)

3.1.3 Survie de *Phytophthora infestans*

Les isolats phytopathogènes préalablement inhibés par les isolats antagonistes n'ont pas repris leur croissance sur milieu PPA (Figure17). L'analyse de la variance des taux d'inhibition de la croissance mycélienne n'a pas montré de différence significative entre les isolats antagonistes et ceux phytopathogènes (Tableau 6). En modèle GLM, ces derniers ont avoisiné les 100% et ont confirmé, l'important effet fongicide de l'ensemble des isolats antagonistes du genre *Trichoderma*.

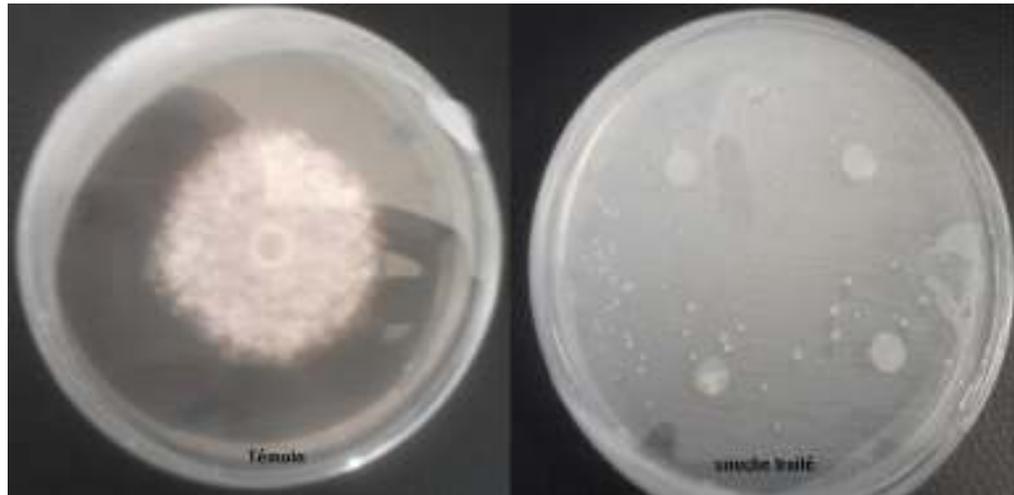


Figure 17. Survie des isolats de *P. infestans* après confrontation directe aux isolats de *Trichoderma* sp.

Tableau 6. Analyse de la variance des taux d'inhibition de la croissance mycélienne selon les isolats de *P. infestans* et selon les isolats de *Trichoderma* sp.

| Mode | Facteurs | Somme des carrés | d.d.l. | Carrés moyens | F-ratio | P |
|---------------|-------------|------------------|--------|---------------|---------|-------|
| Survie milieu | pathogène | 0.000 | 2 | 0.000 | 0.476 | 0.628 |
| Survie milieu | antagoniste | 0.000 | 10 | 0.000 | 0.857 | 0.584 |

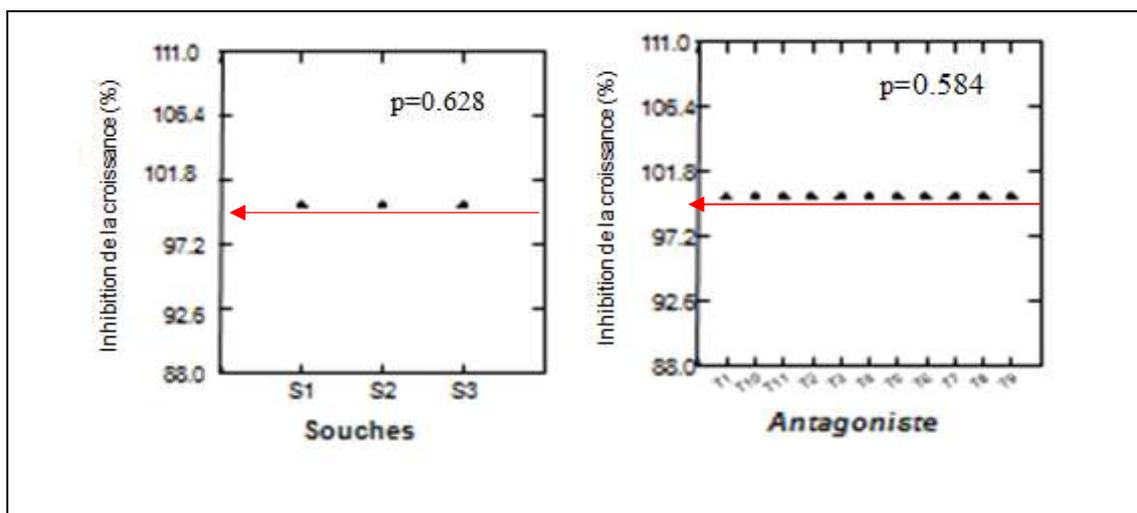


Figure 18. Analyse de la variance en modèle GLM des taux d'inhibition de la croissance mycélienne selon les isolats de *P. infestans* et les isolats de *Trichoderma* sp.

Par ailleurs les isolats de *P. infestans* préalablement inhibés par les isolats de *Trichoderma* n'ont pas développés de symptômes sur les disques foliaires de pomme de terre (Figure 19). Leurs taux d'infection enregistrés étaient négligeables à nuls. Ainsi, les onze isolats de *Trichoderma* ont montré une très forte réduction la maladie pour les trois isolats de *P. infestans* (Tableau 7, Figure 19).



Figure 19. Symptômes développés par les isolats témoins de *P. infestans* et ceux préalablement inhibés par les isolats de *Trichoderma* sp.

Tableau 7. Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie selon les isolats de *P. infestans* et les isolats de *Trichoderma* sp.

| Mode | Facteurs | Somme des carrés | d.d.l. | Carrés moyens | F-ratio | P |
|-----------------|-------------|------------------|--------|---------------|---------|-------|
| Survie Feuilles | Pathogène | 0.000 | 2 | 0.000 | 0.476 | 0.628 |
| Survie Feuilles | Antagoniste | 0.000 | 10 | 0.000 | 0.857 | 0.584 |

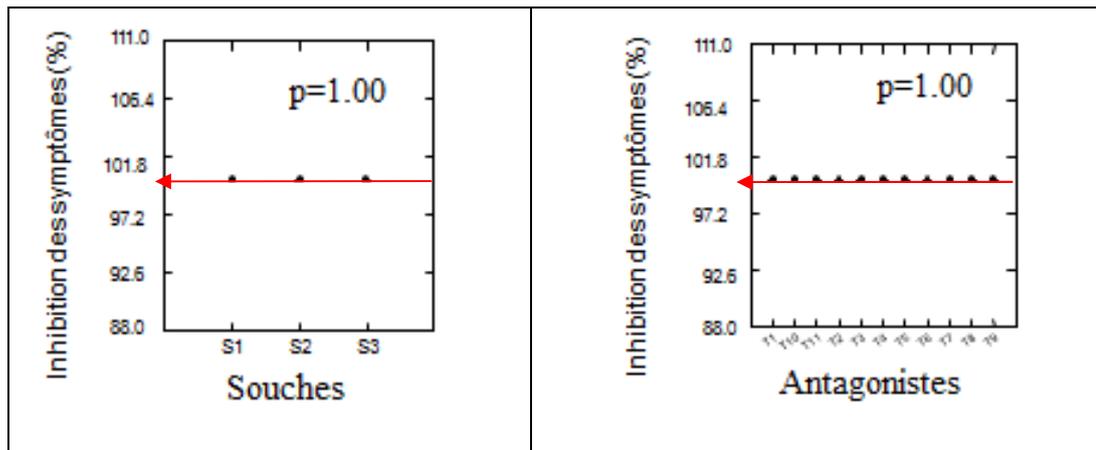


Figure 20. Analyse de la variance en modèle GLM des taux de réduction de la maladie (%) selon les isolats phytopathogènes de *P. infestans* et les isolats antagonistes de *Trichoderma* sp.

3.2 Discussion

L'activité antagoniste *in vitro* des souches de *Trichoderma* a confirmé leur pouvoir inhibiteur sur la croissance, la sporulation et la germination des isolats de *P. infestans*. Les taux d'inhibition enregistrés pour ces paramètres ont montré une variabilité liée aux isolats antagonistes et phytopathogènes.

De nombreux travaux sur l'antagonisme par le genre *Trichoderma* coïncident avec nos résultats.

Les travaux de Hibar *et al.* (2005) ont montré l'effet antagoniste de *T. harzianum* vis-à-vis du *F. oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, agent responsable de la pourriture des racines et du collet de la tomate. Les essais de confrontations directes ou indirectes entre *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* et *T. harzianum*, ont révélé une inhibition *in vitro* de la croissance mycélienne de l'agent pathogène testé. Dans le cas de contact direct entre les deux champignons, *T. harzianum* envahit les colonies de *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* et y sporule même au bout de six jours d'incubation, révélant ainsi son pouvoir hautement myco-parasitaire.

L'envahissement du mycélium du pathogène par *T. harzianum* a également été observé par Benhamou et Chet (1997) en confrontation directe sur milieu de culture entre cet antagoniste et *Pythium ultimum* au bout de quatre à cinq jours après l'inoculation. Comme, l'effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* de certains isolats de *T. harzianum* isolés à partir des plants de tomate dans le but de la lutte contre *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (Elad *et al.*, 1982 ; Daami-Remadi, El Mahjoub, 2001 ; Hibar *et al.*, 2005).

Parallèlement, Benhamou et Chet (1997) ont confirmé également l'envahissement du mycélium du pathogène par *Trichoderma* en réalisant une confrontation directe entre cet antagoniste et un champignon tellurique, le *Pythium ultimum* au bout de 72 heures d'incubation. Comporta (1985) a affirmé que cette interpénétration favorise l'action des enzymes β 1-3 glucanase, chitinase conduisant à la lyse du mycélium du phytopathogènes et, confirme le mycoparasitisme du genre *Trichoderma*.

De même, Elad *et al.* (1983) ont décrit l'action mycoparasitaire de *T.harzianum* et *T.hamatum* sur *Rhizoctonia solani* et *Sclerotium rolfsii*. Ils ont suggéré que *Trichoderma* s'attaque à son hôte en enroulant son mycélium autour des hyphes de l'hôte. Par la suite, le mycoparasite pénètre dans les cellules de l'hôte et digère le contenu cytoplasmique.

D'autre part, la réduction de la sporulation en bordure de la zone d'inhibition a été observée par Maslouhi (1989) en réalisant une confrontation directe sur milieu de culture entre un champignon (*Arthrotrys*), un actinomycète, et une bactérie contre *Fusarium oxysporum* f.sp.*albedinis*.

Par ailleurs, Daami-Remadi et El Mahjoub (2001) ont signalé, en testant la même activité antagoniste vis-à-vis de deux espèces de *Pythium*, que pendant les trois premiers jours la boîte de Pétri est totalement envahie par *Pythium* spp. et que *T. harzianum* ne commence à exercer son activité antagoniste qu'à partir du 4 ième jour d'incubation. Il ressort aussi de la confrontation indirecte que *T. harzianum* a pu exercer une activité inhibitrice sur le développement des colonies de *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. Ceci s'expliquerait par son aptitude à produire des substances volatiles, capables de limiter et d'inhiber le développement de l'agent pathogène.

D'autre part, des résultats similaires ont été rapportés pour *Trichoderma harzianum* contre le *Phytophthora capsici* (Ezziyyani *et al.*, 2004).

Egalement, les travaux de Vivian *et al.* (2008) sur l'antagonisme *in vitro* des souches d'*Aspergillus* et de *Trichoderma* aux champignons filamenteux qui affectent la culture de l'ail ont montré que deux souches antagonistes de *Trichoderma* sp. sélectionnées se développent plus vite que les agents pathogènes de *Fusarium*.

De même, Berber *et al.*(2009) ont évalué *in vitro* et *in vivo* le pouvoir antagoniste de trois isolats de *Trichoderma harzianum* et deux isolats de *T. viride* à l'encontre de *Bipolaris maydis*, *B. sorghicola*, *B. tetramera* et *B. sorokiniana*, parasites foliaires du Sorgho. Ils ont conclu que l'ensemble des isolats de *Trichoderma* ont inhibé efficacement la croissance mycélienne et la germination conidienne des agents phytopathogènes étudiés à des degrés variables et par le biais de différents mécanismes.

Le test de confrontation directe a mis en évidence le pouvoir mycoparasitaire de deux espèces de *Trichoderma* et a affirmé que cet antagoniste fongique peut avoir des mécanismes liés à la concurrence, à l'antibiose, au mycoparasitisme et au hyperparasitisme (Poinar & Buckley, 2007).

Dans ce sens, les travaux de Kebe *et al.* (2009) ont montré la variabilité de l'inhibition *in vitro* de la croissance mycélienne des isolats de *Phytophthora palmivora* par les isolats antagonistes

de *Trichoderma* sp.. Le pourcentage de survie de cet agent phytopathogène préalablement inhibé par les antagonistes étudiés variait respectivement de 90 à 50 % pour certains isolats de *Trichoderma*. et de 30 à 10 % pour d'autres. Cependant, d'autres isolats de *Trichoderma* sp. ont confirmé leurs effets fongicides très nets avec un pourcentage de survie de *P. palmivora* nul.

Des résultats similaires ont été rapportés récemment par Saadoune (2011) et Hassni(2012) affirmant la non survie des trois isolats algériens de *P.infestans* après leur confrontation directe aux isolats antagonistes algériens de *Trichoderma* sp. prélevés du sol des cultures de tomate.

Conclusion

Au terme de cette étude, nous jugeons important de rappeler les résultats obtenus.

Dans un premier temps, l'activité antagoniste *in vitro* des isolats de *Trichoderma* sp. à l'égard des isolats de *P. infestans* a affirmé que des taux d'inhibition importants ont été enregistrés, dépassant 50% pour la croissance mycélienne et atteignant plus de 90% pour la sporulation et la germination.

Le mycoparasitisme a affecté la morphologie de *P. infestans*. Les observations microscopiques ont mis en exergue une réduction du diamètre mycélien, sa lyse ou sa vésiculation ainsi qu'une très faible fréquence d'apparition de sporanges qui étaient le plus souvent moins développées, déformées ou vidées de leur contenu.

D'autre part, la non survie des isolats de *Phytophthora infestans* *in vitro* et sur feuilles détachées de pomme de terre ont démontré l'effet fongicide et mycoparasitaire des isolats antagonistes fongiques du genre *Trichoderma* étudiés et, constitueraient une contribution dans la lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre en Algérie.

Sur la base des résultats obtenus, nous confirmons les potentialités bio-fongicides des isolats algériens de *Trichoderma* sp. à l'égard des isolats A1 et A2 de *P. infestans*.

Dans ce sens, plusieurs perspectives s'ouvrent à la recherche :

- Identification moléculaire des isolats antagonistes du genre *Trichoderma* les plus efficaces.
- Modalités d'action des isolats antagonistes.
- Profil enzymatique des isolats antagonistes.
- Production en masse et formulation des isolats antagonistes pour l'essai *in vivo* en plein champ.
- Étude toxicologique avant leur application au champ
- Recherche d'autres micro-organismes éliciteurs à l'égard de *Phytophthora infestans*

1.1 Aperçu sur la culture de la pomme de terre

1.1.1 Description botanique

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

Les tubercules sont comestibles, de tailles variables et de formes oblongues, plus ou moins allongées, cylindriques, lisses ou bosselées 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 foncée, rose ou violette selon les variétés (Bock, 2012).

Les feuilles sont caduques, alternes et vont de dix à vingt centimètres de long. Elles sont insérées sur la tige selon une phyllotaxie spiralée (Figure 1). Elles sont composées imparipennées et comptent 7 à 9 folioles de forme lancéolée et de taille hétérogène, les plus petites folioles s'intercalent par paires entre les plus grandes. Les feuilles basales peuvent parfois être entières. Elles présentent des poils ou trichomes à leur surface, en quantité variable selon les cultivars (Bock, 2012).

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

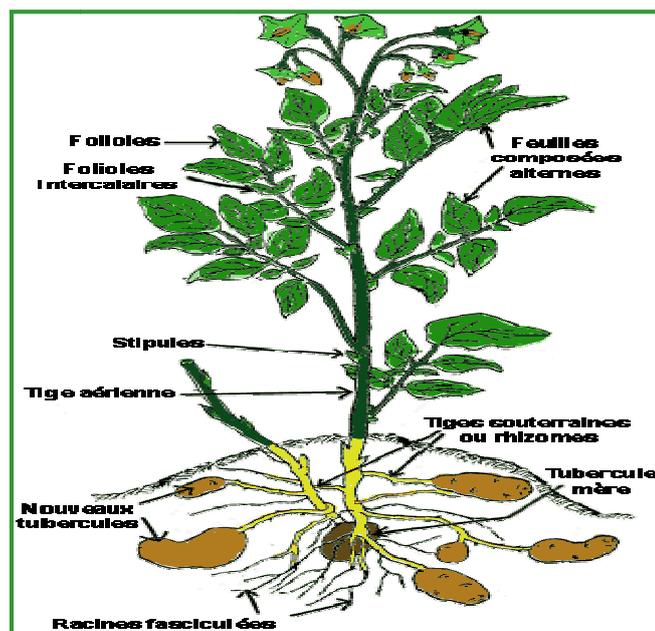


Figure 1. Morphologie de la pomme de terre (Soltner, 2005)

1.1.2 Historique

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

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

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

Cette culture a été ramenée et propagée par les maures andalous en Algérie. Elle a été faite par les français en 1856 et en 1898, mais notre pays était déjà un pays importateur de pomme de terre de consommation (Inva, 2007 ; Carrier et Senécal, 2012).

1.1.3 Exigences culturales

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

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

1.1.4 Cycle biologique de développement

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

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

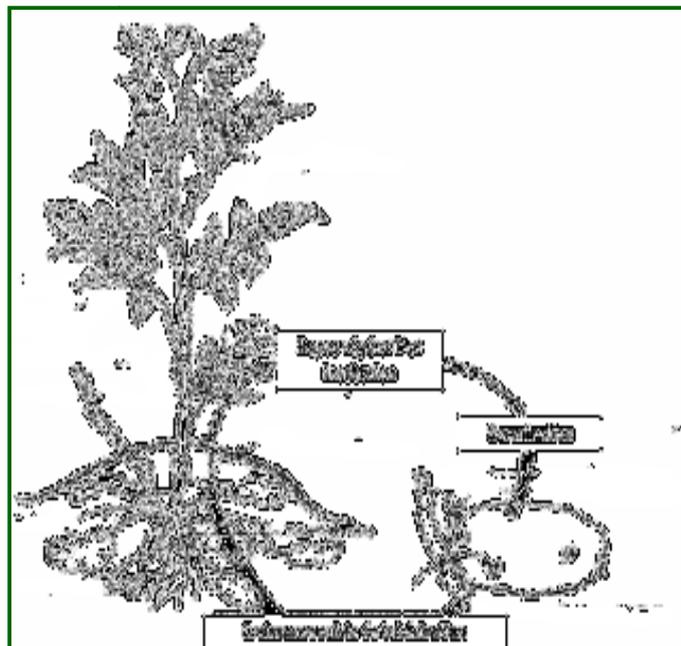


Figure 2. Cycle végétatif de la pomme de terre (Soltner, 2005)

1.1.5 Importance économique

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

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

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

L'Asie et l'Europe sont les pays les plus grands producteurs de la pomme de terre, présentant plus de 80% de production mondiale (Tableau1). La Chine et l'Inde sont les leaders représentant le un tiers de production mondiale (Anonyme, 2012).

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

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

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

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

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

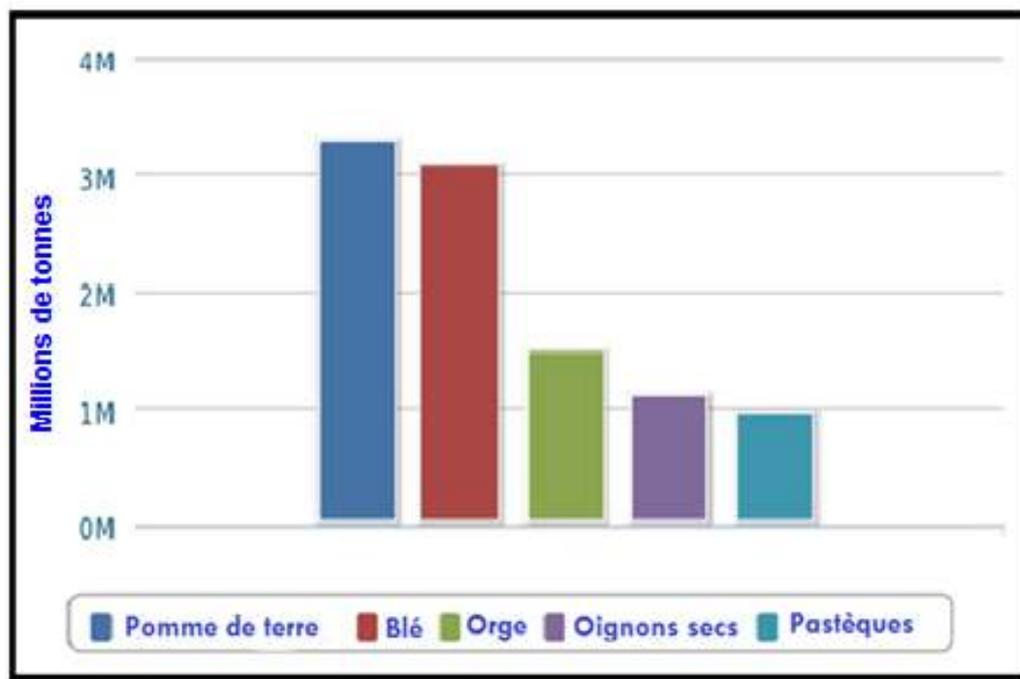


Figure 3. Classement des principales cultures en Algérie (2010) (FAOstat, 2012)

Elle est classée comme le deuxième pays producteur de pomme de terre dans le monde arabe après l'Égypte et le quatrième producteur en Afrique (FAOstat, 2008).

La pomme de terre est cultivée sur tout le territoire, y compris dans les oasis du sud du pays, avec l'apparition récente du bassin spécifique d'El Oued, où la pomme de terre est devenue une spéculation majeure en quelques années. Cependant, si l'on retient les quinze wilayas où elle occupe plus d'un millier d'hectares, on pourra alors distinguer dans les zones du littoral et du sublittoral, trois bassins de production (Chehat, 2008) ; A l'Ouest, celui constitué par les wilayas de Tlemcen, Mostaganem et Chlef ; Au Centre, celui regroupant les wilayas d'Ain Defla, Tipaza, Alger, Boumerdes, Bouira et Tizi- Ouzou ; A l'Est, représenté par la wilaya de Skikda sur le littoral et de Guelma, Setif, Mila et Batna à l'intérieur. Les wilayas d'El oued, Mascara, Mostaganem et Ain Defla représentent les principales localités productrices (Tableau 2). Les variétés Spunta, Désirée, Kondor, Batina, Timate et Atlas sont les plus cultivées (MADR, 2011).

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

| Wilaya | Superficie réalisée | Superficie récoltée | Production obtenue | Rendement q/ha |
|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|
| Tlemcen | 5962 | 5841 | 1116235 | 191 |
| Tiaret | 4400 | 4395 | 1300350 | 296 |
| Mascara | 10363 | 10357 | 2834204 | 274 |
| Saida | 1335 | 1331 | 321444 | 242 |
| Sidi Bel Abbès | 1533 | 1522 | 358213 | 235 |
| Oran | 222 | 222 | 51080 | 230 |
| Ain Témouchet | 313 | 313 | 46800 | 150 |
| Relizane | 1675 | 1675 | 499360 | 298 |
| Tissemsilt | 158 | 158 | 24450 | 155 |
| El Bayadh | 630 | 630 | 96500 | 153 |
| Mostaganem | 10349 | 10349 | 2442750 | 237 |
| Naâma | 420 | 420 | 82600 | 197 |
| S/T Ouest | 37359 | 37158 | 9173986 | 247 |
| Chlef | 4906 | 4906 | 1498157 | 306 |
| Ain Defla | 18565 | 18279 | 5147422 | 282 |
| Béjaïa | 396 | 396 | 103633 | 262 |
| Blida | 963 | 963 | 442223 | 459 |
| Bouïra | 4742 | 4586 | 1421072 | 310 |
| Tizi Ouzou | 1660 | 1575 | 310552 | 197 |
| Alger | 2055 | 2052 | 661025 | 322 |
| Djelfa | 1820 | 1810 | 307400 | 170 |
| Médéa | 1637 | 1637 | 401246 | 245 |
| M'sila | 808 | 808 | 168065 | 208 |
| Boumerdes | 2948 | 2919 | 898933 | 308 |
| Tipaza | 3784 | 3705 | 935160 | 252 |
| S/T Centre | 44283 | 43633 | 12294888 | 282 |
| Batna | 2270 | 2270 | 588600 | 259 |
| O,E,Bouaghi | 663 | 655 | 157071 | 240 |
| Setif | 2894 | 2880 | 629074 | 218 |
| Skikda | 3271 | 3228 | 768832 | 238 |
| Jijel | 568 | 568 | 90153 | 159 |
| Annaba | 71 | 71 | 13499 | 190 |
| Guelma | 2811 | 2768 | 621586 | 225 |
| Constantine | 444 | 444 | 115640 | 260 |
| B.B.Arréridj | 355 | 353 | 57250 | 162 |
| El Tarf | 540 | 532 | 96890 | 182 |

| | | | | |
|----------------------|---------------|---------------|-----------------|------------|
| Khenchela | 199 | 199 | 31300 | 157 |
| Souk Ahras | 533 | 533 | 132300 | 248 |
| Tébessa | 2560 | 2534 | 602665 | 238 |
| Mila | 1403 | 1363 | 396045 | 291 |
| S/T Est | 18582 | 18398 | 4300905 | 234 |
| Adrar | 218 | 218 | 37323 | 171 |
| Laghouat | 1515 | 1515 | 377990 | 249 |
| Biskra | 35 | 35 | 7700 | 220 |
| Béchar | 95 | 95 | 13800 | 145 |
| Ouargla | 250 | 250 | 62079 | 248 |
| Ghardaia | 387 | 387 | 119200 | 308 |
| El Oued | 18800 | 18800 | 6206320 | 330 |
| Tindouf | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Illizi | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tamarasset | 49 | 49 | 6109 | 125 |
| S/T Sud | 21349 | 21349 | 6830430 | 320 |
| Total General | 121574 | 120537 | 32600208 | 270 |

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

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

1.1.6 Problèmes Phytosanitaires

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

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

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

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

1.2 Généralités sur l'agent phytopathogène

1.2.1 Systématique

Le genre *Phytophthora* signifie destructeur de plantes. Il regroupe environ 35 espèces, appartenant à la classe des *oomycètes* qui sont essentiellement terrestres, mais en présence d'eau, elles produisent des zoospores mobiles (Peter et *al.*, 2003). Ils forment un genre important responsable de nombreuses maladies des végétaux au sein de la famille des *Pythiacées*, et de l'ordre de *Péronosporales*. *Phytophthora infestans*, a été longtemps considéré comme tous les *oomycètes* un champignon, cependant il a été récemment classé comme protiste fongiforme (Legemble, 2008). Les *oomycètes* présentent une croissance filamenteuse qui les fait ressembler à des champignons mais les connaissances actuelles sur leur structure amène à les apparenter plutôt aux algues bien que, contrairement à ces dernières, ils n'aient pas de chlorophylle (Rohner, 2002).

1.2.2 Aspect cultural de *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans se comporte dans la nature comme un biotrophe obligatoire (Isaac, 1992 ; Kosack et Parker, 2003), sans capacité de survie saprophyte, mais il peut tout de même être isolé et cultivé en milieu de culture artificiel ; le mycélium qui se développe en boîte de pétri est blanc et cotonneux (Andrison, 1995) (Figure4).



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

1.2.3 Morphologie

Phytophthora infestans possède un mycélium coenocytique hyalin et un développement endogène (Chamont, 2010). Le caractère morphologique principal de ce phytopathogène est la présence de renflement ou de gonflement au niveau des sites de ramification en particulier aux points de la formation des sporocystes (Thurston et Schultz, 1981) (Figure 5.1). Ces derniers en position terminale ont une forme et une taille variable selon les isolats. Les sporanges citriformes présentant une papille apicale, renferment des cellules mobiles appelées zoospores qui assurent la reproduction asexuée. Ces zoospores se déplacent grâce à deux flagelles dissemblables (Bouchet et *al.*, 2000). Les oospores sont pour la plupart de forme aplérotique avec un diamètre moyen d'environ 30 μm (Gallegly et Hong, 2008) (Figure 5.2). Les oogones sont globuleuses, d'un diamètre de 37 μm , alors que les anthéridies sont amphygines et généralement de forme allongée (Gallegly et Hong, 2008).



Figure 5. Morphologie de la forme asexuée (1) (G : X500)
(Ahmed- serrir et Moussaoui, 2011) et de la forme sexuée de *P. infestans* (2)
(Gr x 1250) (Smart et *al.*, 2000)

1.2.4 Spécificité parasitaire

Cet agent phytopathogène provoque des dégâts très répandus chez de nombreuses plantes cultivées, comme le cacaoyer, les ananas, les tomates, l'*Hévéa*, les papayers, les oignons, les fraisiers, les pommiers, le soja, le tabac, et les *citrus*. L'espèce la plus connue de ce genre est *Phytophthora infestans*, agent responsable du mildiou de la pomme de terre (Peter et *al.*, 2003) et/ou d'autres solanacées cultivées comme la tomate, l'aubergine, le poivron et les solanacées sauvages comme les morelles (Legemble, 2008). Aux Etats Unis, plusieurs investigations ont confirmé que la morelle (*Solanum sarachoides*), petunia (*Petunia hybrida*) et l'aigre-doux (*Solanum bulcamara*) constituent aussi des hôtes pour ce pathogène (Laing,

1998). Cependant, plusieurs autres cultures appartenant à d'autres genres et espèces d'arbres tropicaux et arbustes se sont révélées des hôtes pour ce phytoparasite (Vartanian et Endo, 1985 ; Erwin et Ribeiro, 1996). Christine et *al.* (2000) ont affirmé que la large apparition de nouveaux génotypes de *Phytophthora infestans* a contribué à l'élargissement de sa gamme d'hôtes.

1.3 Généralités sur la maladie

1.3.1 Historique

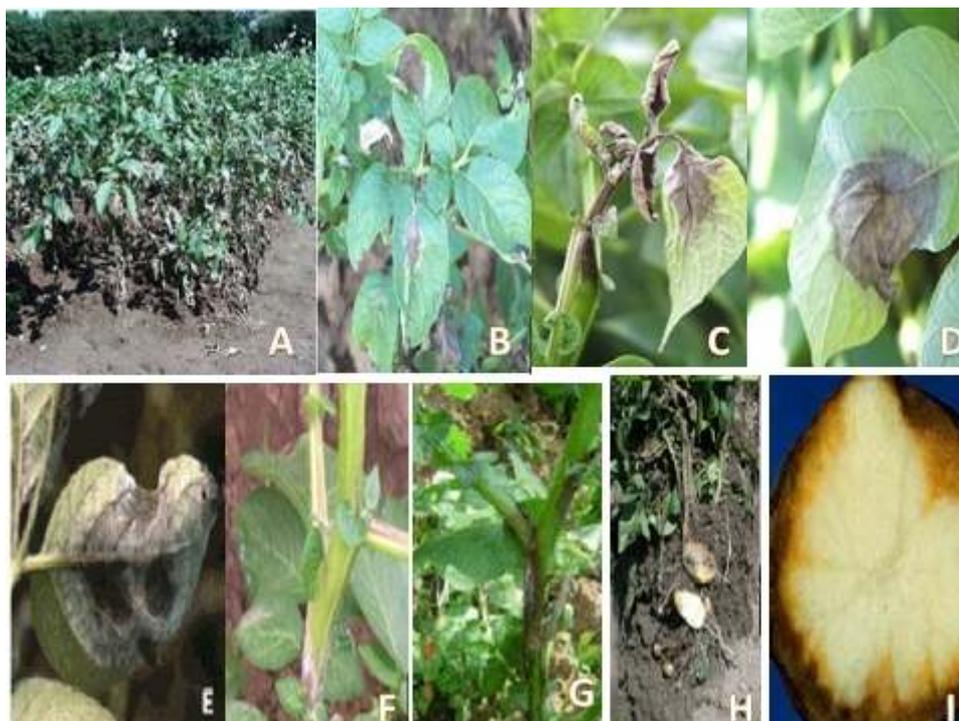
En Amérique du nord, le mildiou fut observé pour la première fois en 1843 près de Philadelphie aux Etats-Unis (Lacroix, 1999), alors que, la première épidémie en Europe remonte à 1845. Elle démarra en Belgique, puis se propagea, vers la Suisse, la France, le sud de l'Angleterre et en Irlande où elle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

1.3.2 Symptômes

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

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

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



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

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

1.3.3 Importance économique de la maladie

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

En effet, cette dernière peut atteindre les 100%, et en moins de trois semaines, une culture de pomme de terre peut être entièrement détruite (Gaucher et *al.*, 1998). Les attaques précoces induisent une diminution de la photosynthèse, alors que les attaques tardives conduisent à une baisse de la qualité des tubercules (Radtke et Rieckmann, 1991 ; Dubois, 1996).

1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre

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

1.4.1 Méthodes préventives et prophylactiques

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

1.4.2 Lutte chimique

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

Toutefois, l'utilisation massive des fongicides systémiques a conduit à sélectionner des isolats résistants à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides. De plus, les effets nocifs de l'emploi des pesticides sur la santé des utilisateurs et sur l'environnement amènent aujourd'hui à les utiliser d'une façon plus raisonnée. Ainsi, des systèmes de prévisions des risques ont été développés afin de rationaliser l'utilisation des traitements chimiques préventifs (Montarry, 2007). Cependant, en Algérie, la lutte contre le mildiou de la pomme de terre reste basée sur l'utilisation par alternance de produits chimiques de contact et systémiques en tenant compte des conditions climatiques (Gisi et Cohen, 1996).

1.4.3 Lutte génétique

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

Des gènes similaires ont également été identifiés chez d'autres espèces apparentées à *S. tuberosum*, telles que *S. bulbocastanum*, *S. berthaultii* ou *S. phureja*. Cependant, ces gènes sont très rapidement contournés par les populations parasites et ne peuvent constituer à eux seuls une méthode de lutte durable. Les sélectionneurs s'orientent vers la recherche de résistances polygéniques (Montarry, 2007).

1.4.4 Lutte biologique

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

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

Par ailleurs, le comportement de plusieurs espèces de *Phytophthora* est influencé par les micro-organismes du sol induisant soit la stimulation soit l'antagonisme (Malajczuk, 1983). Ainsi, des bactéries antagonistes de *P. infestans* tels que *Xenorhabdus bovienii* (*Enterobacteriaceae*), *Bacillus*, *Pseudomonas* et *Sterptomyces*, pourraient contribuer à limiter l'infection du feuillage ou des tubercules de pomme de terre (Lacey, 1965 ; Malajczuk, 1983 ; Andrivon, 1994). Selon ces auteurs, les différents mécanismes d'antagonisme évoqués *in vitro* ou dans le sol vis à vis du *P. infestans* sont la fongistase, la lyse structurale du champignon et la production des antibiotiques. Néanmoins, les études de l'action antagoniste de plusieurs bactéries, virus et champignons vis à vis du pathogène sont en cours d'expérimentation en plein champ.

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

résultats ont été obtenus avec les extraits de *Potentilla erecta* (90%) et *Salvia officinalis* (83%).

1.5 Aperçu sur les *Trichoderma* sp

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

1.5-1- Taxonomie

Les *Trichoderma* se présentent sous deux formes :

- La **forme parfaite** dont le genre est *Hypocrea* appartenant à la classe des *Deuteromycètes*, l'ordre des *Sphaériales* et la famille des *Hypocréacées* (Bellahcene, 1990 ; Besnard, 1992).
- La **forme imparfaite** représentée par le genre *Trichoderma*, appartenant à la classe des *Adelomycètes*, l'ordre des *Hyphales (Moniliales)* et la famille des *Mucédinacées (Moniliacées)* (Bellahcene, 1990).

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

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

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

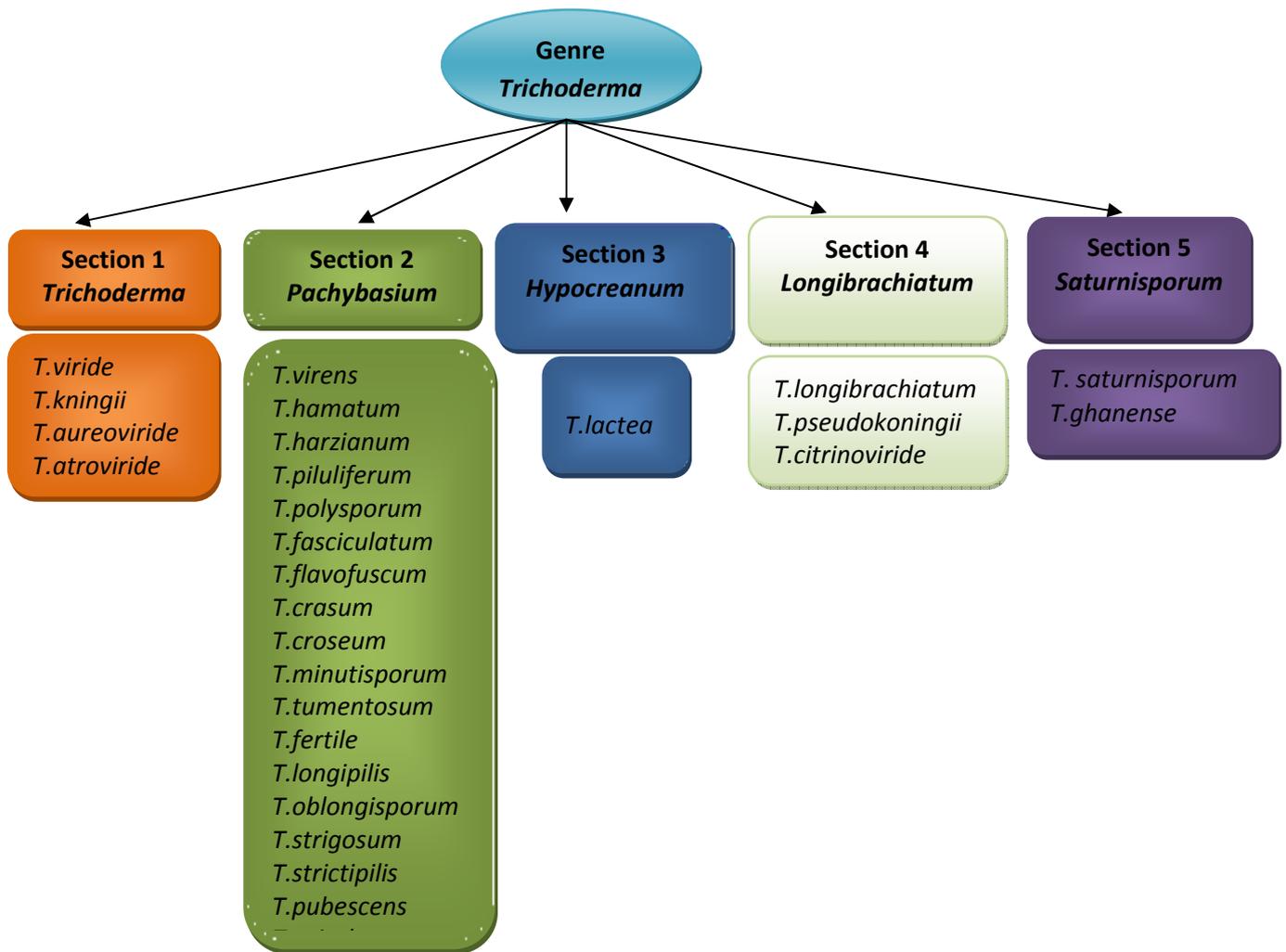
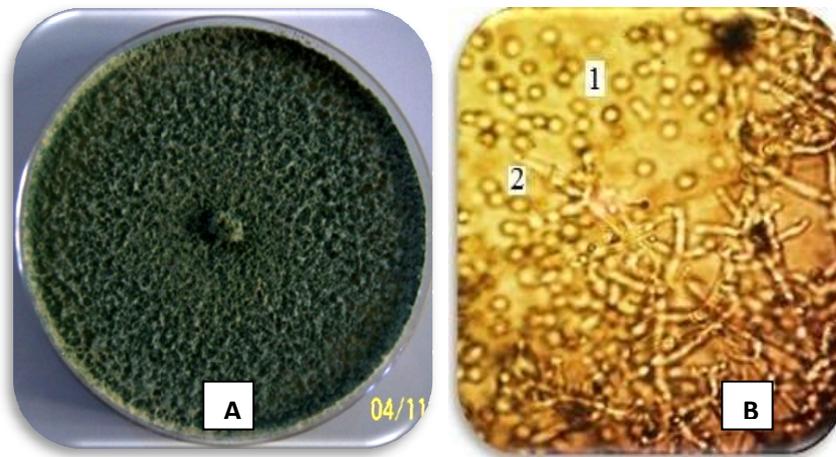


Figure 8. Sections systématiques de *Trichoderma sp.* et quelques espèces agrégées de Rifai (1969 in Bisset, 1991).

1-5-2- Caractérisation culturelle et morphologique

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

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



1. Conidies
2. Phialide

Figure9. Aspect cultural (A) et morphologique (B) (G : 10X40) de *Trichoderma* sp. (Moumene *et al.*, 2008)

1.5.3 Ecologie

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

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

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

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

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

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

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

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

References

Bibliographiques

- **Abd-El-Khair H., Wafaa M., 2007:** Application of Some Egyptian Medicinal Plant Extracts Against Potato Late and Early Blights Plant Pathology Dept., National Research Centre, Dokki, Giza, Egypt., Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 3(3), 166-175p.
- **Ahmed-Serir B. & Moussaoui A., 2011:** Le mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie : Caractérisation culturelle et pathogénique de trois isolats Algériens de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Th. Ing.Univ. Saad Dahleb de Blida, Algérie, 47p.
- **Ait Yahia C., 1996 :** Contribution à l'étude de l'antagonisme in vitro de *Trichoderma harzianum* vis-à-vis de l'agent de Fusariose vasculaire chez la lentille et le melon. thèse .d'Ing.Agro.Chlef ,50p.
- **Alabouvette C., Couteaudier Y. & Louvet J., 1983 :** Importance des phénomènes de compétition nutritive dans l'antagonisme entre microorganismes, XXIV.Colloque de la société Française de phytopathologie(34), Bordeaux (FR) ,7-16p.
- **Alim Y., 2010 :** La filière de pomme de terre en Algérie ,12-13p.
- **Andrison D., & Lebreton L., 1997 :** Mildiou de la pomme de terre, ou en sommes-nous après 150 ans. Phytoma 494 (5) ,24-27p.
- **Andrison D., 1995:** Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. Phytopathology 85, 1053-1056p.
- **Andrison D., 1994:** Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils. Soil Biologie and biochemistry 26, 945-952p.
- **Anonyme, 2012 :** salon international de la pomme de terre Mosta batatis spécial quatrième édition, 4-6p.
- **Anonyme, 2008 :** Maladies, ravageurs et désordres de la pomme de terre, Guide d'identification et fiches descriptives. Co-edition: Fnpppt, Gnis et Arvalis ,192 p.
- **Anonyme, 2006 :** Protection phytosanitaireen, culture de pomme de terre biologique, Fiche 1, Lutte contre les champignons et les bactéries pathogènes.
- **Avis T., & Bélanger R., 2001:** Specificity and mode of action of the antifungal fatty acid cis-9-heptadecenoic acid produced by *Pseudozyma flocculosa*. Applied and Environmental Microbiology 67, 956-960p.
- **Bahous M. ; Ouazzani Touhami A. & Douira A., 2008 :** Survie de quelques pathogènes fongiques sur les feuilles de riz conservées au laboratoire. Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Département de Biologie, UFR de Mycologie, Laboratoire de Botanique et

- de Protection des Plantes, Kénitra, Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n°30, 13-18p.
- **Baker R., 1988:** Trichoderma spp. as plant-growth stimulants, CRC Crit. Rev. Biotechnol. 7 (2), 97-106p.
 - **Bamouh A., 2003 :** Fiche technique, l'abricotier, le prunier, le poirier et le pommier. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, Transfère de technologie en agriculture, n° 107 Arboriculture., Ministère de l'agriculture et de développement rural, Maroc, 4p.
 - **Barat J., Paran G., et Bernabé C., 2012 :** La pomme de terre, bilan de campagne 2010-2011. FranceAgriMer, 8p.
 - **Beckett M.C., Daughtrey M.L. & Fry W.E., 2005:** Epidemiology and management of petunia and tomato late blight in the greenhouse. *Plant Disease* 89, 10001008
 - **Bellahcene M., & Chet I., 1990:** Cellular and molecular mechanisms involved in the interaction between *T.harzianum* et *Pythium ultimum*. *Appl. Envir. Microbiol.* 63, 2095-2099p.
 - **Beninal L., 2011 :** Diversité génétique de *Phytophthora infestans* agent du mildiou de la pomme de terre en Algérie. Th. Mag. E.N.S.A El Harrach, 88p.
 - **Benoît B., 2012 :** Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France, BDNFF v4.02
 - **Benhamou N., & Chet I., 1996:** Parasitism of sclerotia of *Sclerotium rolfsii* by *Trichoderma harzianum*: Ultrastructural and cytochemical aspects of the interaction. – *Phytopathology* 86(4), 405-416p.
http://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1996Articles/Phyto86n04_405.pdf
 - **Benhamou N., & Chet I., 1997:** Cellular and molecular mechanisms involved in the interaction between *Trichoderma harzianum* and *Pythium ultimum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 2095–2099p.
 - **Berber F., Ouazzani Touhami M., Badoc A., & Douira A., 2009 :** Antagonisme *in vivo* de deux *Trichoderma* à l'égard de quatre espèces de *Bipolaris* pathogènes sur le Sorgho., Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 148, 93-114p.
 - **Besnard O., 1992 :** Etude de souche de *Trichoderma* à la fois stimulatrice de croissance de plantes et antagoniste du *Pythium ultimum*. Thèse de doctorat. Université Montpellier, 107p.
 - **Bissett J., 1991:** A revision of the genus *Trichoderma*. Section *Pachybasium*. *Can. J. Bot* 69, 2373-2417p.

- **Blaeser P., & Steiner U., 1998:** Antifungal activity of plant pathology extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*). In Modern Fungicides and Antifungal Compounds II. 12th International Reinhardt's Symposium, Friedrichroda, Thuringia, Germany, 24th-29th May 1998. Review of Plant Pathology 78, 936p.
- **Blaeser P., & Steiner U., 1999:** Antifungal activity of plant extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*). Modern Fungicides and Antifungal Compounds 11-12th. International Reinhardt's Symposium, Friedrichroda, Germany, 24-29th May, 1998, 491- 499p.
- **Botton B., Breton A., Serve M., Guy Ph., Larpen t J. B., & Veau P., 1985 :** Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle –Collection Biotechnologie. Ed. Masson, Paris, 364p.
- **Bouchet P., Guignard J., L., Pouchus Y. F., & Villard J., 2000 :** Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée. Abrégés. Biochimie végétale. 2^{ème} édition Masson ,274 p.
- **Caron J. L., Laverdière P. O., Thibodeau & R. R. Bélanger., 2002 :** Utilisation d'une souche indigène de *trichoderma harzianum* contre cinq agents pathogènes chez le concombre et la tomate de serre au Québec. Phytoprotection 83,73-87p.
- **Carrier A., & Senécal M., 2012 :** Bulletin d'information cultures en serres: un nouveau fongicide .culture en serre N°8.Ed.bruno gosselin et céndy ouellet,RAP ,2
- **César1 J-L., Rolot1 V., Labbé1 & L., Laguesse1., 2011 :** La recherche sur le mildiou de la pomme de terre au CRA-W à Libramnt ,2p.
- **Chamont S., (2010).** Le micro-organisme pathogène de la culture description de l'agent pathogène, Perspectives Agricoles 236,1-20p.
- **Changins W., et Reckenholz T., 2008 :** La Pomme de terre – Journée Information Agriculture La pomme de terre dans la coopération au développement
- **Chehat F., 2008 :** La filière pomme de terre Algérienne : une situation précaire. Journée d'étude sur la filière pomme de terre, Situation actuelle et perspectives. I.N.A. El Harrach, le 18 Juin 2008, Alger, 1-11 pp.
- **Christine D. S., Roberts W S. & Fry W. E., 2000:** Molecular Techniques and the mystery of the potato late blight, in Potato Late Blight Pathogen, 21-42p.
- **Clarys L., 2005 :** La pomme de terre de contre saison dans le Sud Est Malgache. Inter aide, Programme Agricole MANAKARA, 3p
- **Compobello E.W.A., Drenth H.H., & Leifrink R.S., 2002:** Culture professionnelle de Pomme de terre. Plantation. 2^{ème} édition. NIVVA ,22p.

- **Cournut B., 1984** : Le genre *Trichoderma* hyphomycètes. Th.Pharmacie : Marseille , 77. current concepts. Plant Dis. 87(1), 4-10p.
- **Daayf F., Platt H.W., Peter R. D., 2003**: Changes in mating types, resistances to metalaxyl, and Gpi-allozyme genotype of *Phytophthora infestans* in Canada province from 1996 to 1998. Canadian Journal of Plant Pathology 22,110-116p.
- **Davet P., & Rouxel F., 1997** : Détection et isolement des champignons du sol. Eds. INRA, Paris. France.194 p.
- **Davet P., 1983** : Introduction et conservation des *Trichoderma* dans le sol. In les antagonismes microbiens. Modes d'action et application à la lutte biologique conte les maladies des plantes.-24^e Colloq. Soc. Fr. Phytopathol., Bordeaux, 26 mai 1983. Versailles : INRA, p. 159-168p.
- **Djafer A., 2011** : Impact de l'utilisation des isolats algériens de *Trichoderma* sp. sur la culture de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L.en Algérie. Th. Mast .Univ. Saad Dahleb de Blida, 74p.
- **Dommergues y., & Mangenot F., 1970** : Ecologie microbienne du sol. Ed. Masson & cie ,796p.
- **Dubois A., Gandon S., Capowiez Y., Michalakis Y., & Olivieri I., 1996** : Local adaptation and gene-for-gene coevolution in a metapopulation model. Proc. R. Soc. London B 263, 1003-1009p.
- **Duvanchelle S., & Andrivon D., 1996** : Maladies à distribution géographique mondiale : le mildiou et son agent *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. in la pomme de terre. Rousselle P., Robert Y., & Groissier J.C.ed. INRA et ITCF.france ,607p.
- **Elad Y., Chet I., & Henis Y., 1982**: Degradation of plantpathogenic fungi by *Trichoderma harzianum*. Can. J.Microbiol. 28, 719–725p.
- **Erwin D. C., & Ribeiro O. K., 1996**: *Phytophthora* diseases worldwide. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 562 p.
- **Ezziyyani M., Pérez S.C., Sid A.A., Requena M.E. & Candela ME., 2004**: *Trichoderma harzianum* como para el biofungicida biocontrôle de *Phytophthora capsici* fr Plantas de piment (*Capsicum annuum* L.). Anales de biologie 26:35-45p.
- **FAO., 2008** : Faostat, produit par pays <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- **FAO., 2010** : Faostat, produit par pays <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- **Fontem D. A., Olanya O.M., Tsopmbeng G.R. & Owona M.A.P., 2004**: Pathogenicity and metalaxyl sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates obtained from garden huckleberry, potato and tomato in Cameroon. A Plant Protection Department, University

- of Dschang, Box 208, Dschang, Cameroon, bUSDA-ARS, New England Plant, Soil and Water Lab, University of Maine, Orono, ME 04469 USA.
- **Gallegly M. E., & Hong, C 2008:** *Phytophthora*: Identifying species by morphology and DNA Fingerprints. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota USA. 157 p.
 - **Gisi I. U., & Cohn Y1996:** Resistance to phenylamide fungicide; A case study with *Phytophthora infestans*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands ,147 p.
 - **Groodwin S. B., Sujkowski L. S. et Fry W. E1998:** Genetic change within population of *P.infestans* in the united states ans Canada during 1994 to 1996: Role of migration and recombination. *Phytopathology* 88, 939-949p.
 - **Haine D., & Verlaine A., 2006 :** Asbl Pameseb : Un réseau de stations météorologiques automatiques télémessures. Direction Générale de l'Agriculture de la région Wallonne,42 p.
 - **Hamdani M., 2008 :** Etude comparative du développement de la teigne de la pomme de terre *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera : Gelechiidae) dans la région de Ain Defla, de Zéralda et de Boumerdes - estimation des dégâts
 - **Hamlaoui Y., 2009 :** Efficacité de quelques isolats algériens fongiques de *Trichoderma harzianum* et *paecilomyces lilacinus* sur les némathodes à galles genre Meloidoyne. Thèse. Ing. Univ. Saad Dahlab de Blida Algérie, p49.
 - **Hammi A., 2003 :** Caractérisation de populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary dans la région de Saïs. Thèse de doctorat. Université Sidi Mohamed Ibn Abdollah. Fes. Maroc, 272 p.
 - **Hammond-Kosack K.E. & Parker J.E., 2003: deciphering** plant-pathogen communication; fresh perspectives for molecular resistance breeding. *Current Opinion in Biotechnology*. 14, 177-183p.
 - **Hampton M. C., 1992:** Some thoughts on demography of the great potato famine. *Plant Diseases*. 76,1284-1286 pp.
 - **Harman G.E., 2006 :** Aperçu des mécanismes et utilisation des *Trichoderma spp.* . *Phytopathology* 96,190-194p.
 - **Harrison J. G., & Lowe R., 1990:** Effects of humidity and air speed on sporulation of *Phytophthora infestans* on potato leaves. *Plant Pathology* 38, 585-591p.

- **Hassni H., 2012** : Antagonisme in vitro du genre *Trichoderma* indigène à la rhizosphère de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont) de Barry. Agent responsable du mildiou en Algérie. Th.Ing. Univ. Saad Dahlab de Blida.
- **Hibar K., Daami-Remadi M., Khiareddine H., & El Mahjoub M., 2005**: Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. - *Biotechnol. Agron.*
- **Henfling J. W., 1987** : Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information technique, C. I. P, Lima Pérou, 23-30p.
- **Hjeljord G. L., Stensvand A., Tronsmo A., 2001**: Antagonism of nutrient-activated conidia of *Trichoderma harzianum* (*atroviride*) P1 against *Botrytis cinerea*. *Phytopathology*, 91(12), 1172-1180p.
<http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHYTO.2001.91.12.117>
- **Hmouni A., Hajlaoui M.R., & Mlaiki A., 1996** : Résistance de *Botrytis cinerea* aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures abritées de tomate en Tunisie. *OEPP/EPPO Bull.* 26, 697–705p.
- **Howell C.R., 2003**: Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Dis.* 87(1), 4-10p.
- **Huang J., 2000**: Control of seed-borne late blight on pre-cut potato seed with *Trichoderma atroviride*. Plant Pathology and Biotechnology Program, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK 99775, and William W. Kirk, Department of Botany and Plant Pathology, Michigan State University, East Lansing, MI 48824
- **Ibarra-Medina V.A., Ferrera-Cerrato R.; Alarcón A., Hernández M. E.L & Valdez-Carrasco Y.J.M., 2010** : Isolement et criblage de *Trichoderma* souches antagonistes à *Sclerotinia sclerotiorum* et *Sclerotinia minor*. *Rev. Mex.Mic. versión* ISSN 0187-3180. vol. 31, 2010, pp. 53-63p.
- **Inouye S., Watanabe M., Nishiyama Y., Takeo K., Akao M. & Yamagushi M., 1998**: **Carrasco Y. J.M., 2010**: Isolement et criblage de *Trichoderma* souches antagonistes à *Sclerotinia sclerotiorum* et *Sclerotinia minor*. *Rev. Mex.Mic. versión* ISSN 0187-3180. vol. 31, 2010, pp. 53-63p.
- **INVA., 2007** : La culture de la pomme de terre. Agriculture et développement n°08. Revue de vulgarisation et de communication éditée par l'INVA : 49-60p.
- **Isaac S., 1992**: Fungal-Plant Interaction. Published by Chapman and Hall, 2-6 Boundary Row. London, 441 p.

- **Jindal K., Singh H., & Meeta M., 1988:** Biological control of *Phytophthora infestans* on potato. Indian Journal of Plant Pathology 6, 59-62p.
- **Jolivet E., 1969 :** Physiologie de la tubérisation. Annal de physiologie végétale 11, 198-199p.
- **Kessaci M., 2006 :** L'importance des fruits et légumes dans la promotion de la nutrition et de la santé. Production de la pomme de terre en Algérie. L'actuel International 73, Algérie, 38-41 pp.
- **Kessel G. J. T., & Förch M. G., 2006:** Effect of UV-esposure on germination of sporangia of *P. infestans*. Plant Research Internatinal B.V. Wageningen. Note 395, 12p.
- **Klarfeld S., Avia R., & Cohen Y., 2009:** Pathogenic Fitness of Oosporic Progeny Isolates of *Phytophthora infestans* on Late-Blight-Resistant Tomato Lines. The Mina & Everard Goodman Faculty of Life Sciences, Bar-Ilan University, Ramat-Gan, Israe. The American Phytopathological Society. Plant Disease 93,947-953p.
- **Kosack, K.E. & Parker, J.E. (2003).** Deciphering plant-pathogen communication; fresh persperctives for molecular resistance breeding. Current Opinion in Biotechnology, 14, 177-183p.
- **Krebs H., Dorn B., & Forrer H.R., 2006:** Lutte contre le mildiou de la pomme de terre avec des préparations à base de plantes. Revue suisse Agric. 38 (4): 203-207p.
- **Kredics L.; Antal Z.; Manczinger,L.; Szekeres,A.; kevel F., & Nagy E., 2003:** Influence of environmental parameters on *Trichoderma* strains biocontrol potential. Food .biochno technol 1.41 (1), 37-42p.
- **Kuepper G., et Preston S., 2004 :** Solutions biologiques de lutte contre le mildiou de la pomme de terre National Center for Appropriate Technologie. National Sustainable Agriculture Information Service Publication #IP131.
- **Labdi C.EH., 2008 :** Caractérisation et identification des isolats Algériens fongiques en vue d'utilisation contre les nématodes à galles du genre *Meloidogyne*. Thèse d'ingénieur en agronomie. Phytopathologie. Université Saad Dahlab de Blida ,51p.
- **Lacey J., 1965:** The infectivity of soils containing *Phytophthora infestans*. Annals of Appplied Biology 59 ,363-380p.
- **Lacroix M., 1999 :** La tomate de serre, une plante hôte pour le mildiou causée par *Phytophthora infestans*. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection. Direction de l'Innovation Scientifique et Technologique, MAPA. Québec. Canada ,11 p.

- **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 de Réglementation de la Lutte Parasitaire, **Canada**.
- **Latten J., 1994**: Biologische Bekämpfung phytopathogener Pilze mit Hilfe von Pflanzenextrakten, Justus Liebig University, PhD thesis: 121p.
- **Legemble J., 2008** : Le mildiou de la tomate (*Phytophthora infestans*), Fiche Technique du service régionale de la protection des végétaux de Haute-Normandie, 4p.
- **Li J., Chen C., & Webster J. M., 1995**: Antimicrobial metabolites from a bacterial symbiont. *Journal of Natural Products* 58, 1081-1086p.
- **Lozoya-Saldafia H., Coyote-Palma M.H., Ferrera-Cerrato R., & Lara-Hernandez M. E., 2006**: Microbial antagonism against *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. *Agrociencia* 40, 491-499p.
- **Lynch J.M., Lumsden R.D., Atkeyet,P.T., & Ousley M.A., 1991a**: Prospects for control of *Pythium* damping-off of lettuce with *Trichoderma*, *Gliocladium* and *Enterobacter* spp. *Biol. Fertil. Soils* 12, 95-99p.
- **Lynch J.M., Wilson K.L., Ousleyet M.A., & Whipps J.M., 1991b**: Response of lettuce to *Trichoderma* treatment. *Lett. Appl.Microbiol.* 12, 56-61p.
- **Maaro E.B., 2010** : Stratégies de lutte contre le mildiou de la pomme de terre. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/2010-late-blight.htm>.
- **Madec P., 1966** : Croissance et tubérisation chez la pomme de terre. *Bulletin de la Société Française de Physiologie Végétale* 12 : 159-173p.
- **MADR., 2011** : Services de statistiques des cultures, ministère d'agriculture et de développement **rural**.
- **Malajszczuk N., 1983**: Microbial antagonism to *Phytophthora* spp. 197 - 217 in *its biology, taxonomy, ecology and pathology*. D C Erwin, S Bartnicki- Garcia & P H Tsao (eds). American Phytopathological Society, St Paul,392p.
- **Mahanta J.J., Chutia M., Bordoi M., Adhikary R.K., Pathak M.G., & Sharma T.C., 2007** : *Cymbopogon citratus* L. essential oil as a potential antifungal agent against key weed moulds of *Pleurotus* spp. *Spawns. Flavour and Fragrance Journal* 22, 525-530p.
- **Martin J F., 2004** : Culture de la pomme de terre de conservation. Arvalis. Institut du végétal, 4-11p.

- **Mizubutil E. S. G., Ainiori V. L., & Forbes G. A., 2007** : Management of late blight with alternatives products. Pest Technology 51(2), Global Science Books: 106-116p.
- **Montarry J., 2007** : Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au deployment en culture de son hôte *Solanum tuberosum*. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. France. 177 p.
- **Moumene S., Nebih D., & Djazouli Z. E., 2005/2008** : Recherche des champignons filamenteux associés aux nématode de galles de la tomate en Algérie : Projet DURAS /NEMATUS (2DCG3-5) ; Acronyme :Nematus (Nématode Maroc Algérie Tunisie Sénégal). Approche intégrative de la gestion des nématodes phytoparasites en systèmes maraichers méditerranéens et sahéliens ; Fond de solidarité prioritaires DURAS : promotion du développement durable dans les systèmes de recherche agricole du sud ; Ministère Français des Affaires étrangères (soutien du FSP forum de la recherche agricole /GFAR).
- **Mouria A., Ouazzani Touhami A., Douira A., 2003** : Étude de certains facteurs favorisant le maintien de l'activité antagoniste de *Trichoderma harzianum* à l'égard de *Helminthosporium oryzae* sur les feuilles de riz. - *Cah. Rech.*, 2003, 5, 50-66p.
- **Mutitu E.W., & Muriungi S., 1997**: control of root rot of beans caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* using an antagonist *Trichoderma* spp. - *Afr. Crop Sci. Conf. Proc.*, 1997, 3, 1063-1067p.
- **Ngamo, L. S. T., & Hance T. H., 2007**: Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropiculteur* 25 (4) ,46p.
- **Ng K. K., & Webster J. M., 1997**: Antimycotic activity of *Xenorhabdus bovienii* (Enterobacteriaceae) metabolites against *Phytophthora infestans* on potato. plants. *Canadian Journal of Plant Pathology* 19, 125-132p.
- **Nyassé S., Cilas C., Herail C., & Blaha G., 1995**: Leaf inoculation as early screening test for cocoa (*Theobroma cacao* L.) resistance to *Phytophthora* black pod disease. *Crop protection* 14, 657-663p.
- **O'Herlihy E. A., Duffy E.M., & Cassells A. C., 2003**: The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and chitosan sprays on yield and late blight resistance in potato crops from microplants. *Folk: Geobotanica* 38, 201-207p.
- **Paitier G., 1980** : Le mildiou de la pomme de terre. *Phytoma* (4) ,23-27p.
- **Peeten H. G., Shipper E., & Baarveld H. R., 2007**: Catalogue néerlandais des variétés de la pomme de terre .164 ,1-164p.

- **Peter H., Raven R., Evert F., & Susen E., 2003:** Biologie végétale, Edition De « Boeck, Paris, 968p.
- **Philippeau G., 1989 :** Comment interpréter les résultats d'analyse en composantes principales (ACP). Institut Technique des Céréales et Fourrages (ITCF), Paris ,195 p.
- **Powel K.A., 1992:** Biocontrol product fermentation, formulation and marketing. NATO ASI Ser.: Ser. A: Life Sci., 1992, 230, 381-387p.
- **Radtke W., & Rieckmann W., 1991 :** Maladies et Ravageurs de la Pomme de Terre. Th. Mann, Gelsenkirchen-Bue, Canada, 120 p.
- **Robuchon J., 1994 :** Le meilleur et le plus simple de la pomme de terre. Ed. Robert Laffont, 250p.
- **Rohner A., 2002:** Genetic characterization of early-seasonal isolates of *Phytophthora infestans* from Switzerland. Master Th., 50p.
- **Rousselle P., Robert Y., & Grosnier J.C., 1996 :** La pomme de terre, amélioration, ennemis, maladie et utilisation. I.N.R.A. Paris, 607p.
- **Saadoune A., 2011 :** Antagonisme des isolats algériens de *Trichoderma sp.* à l'égard des isolats algériens de *Phytophthora infestans* agent responsable du mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie. Th.Ing. Univ. Saad Dahlab de Blida ,63p.
- **Schepers H., 2007:** Late blight in potatoes. Applied Plant Research. Wageningen. 19p.
- **Schwinn F. J., & Margot P., 1991:** Control with chemicals. In Ingram, D.S., Williams, P.H. Eds., Advances in Plant Pathology. *Phytophthora infestans*, the Cause of Potato Late Blight, Vol. 7. Academic Press Limited, San Diego, CA, USA, 225–265p.
- **Sediqui M., Carroll R. B., & Morehart A. L., 1997:** First report from Morocco of *Phytophthora infestans* isolates with metalaxyl resistance. Plant Disease. 81, 831p.
- **Sivan A., Ucko O., & Chet I., 1987:** Biological control of *Fusarium* crown rot of tomato by *Trichoderma harzianum* under field conditions. - *Plant Dis.*, 1987, 71(7), 587-592p.
- **Smart C. D., Mayton H., Mizubuti E. S. G., Willmann M. R., & Fry W. E., 2000:** Environmental and genetic factors influencing self-fertility in *Phytopathology* 90,987-994p.
- **Soltner D., 2005 :** Les grandes productions végétales. 20 ème édition. Collections Sciences et Techniques agricoles. 472p.
- **Spooner D. M., McLean K., Ramsay G., 2005:** A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. Proc. Natl. Acad. Sci. 102 , 14694-14699 pp.

- **Sugiyama J., 1987:** Pleomorphic fungi: the diversity and its taxonomic implications. Tokyo, Elsevier ,325p.
- **Swieczynski K. M., Chrazanowska M., Domanski L., & Zimonoch-Guzowska E. 2001:** Comparaison of resistance evaluation in potato variety assessment. Potato Research 44, 25-31p.
- **Thurston H. D. & Schultz O., 1981:** late blight in compendium of potato disease. Hooker Eds. APS Press Michigan,USA: 40-42p.
- **Vartanian V. G., & Endo R. N., 1985:** Overwintering hosts, compatibility types, and races of *Phytophthora infestans* on tomato in Southern California. Plant Disease 69, 516-519p.
- **Woodham-Smith C., 1962:** The Great Hunger, Ireland 1845-1849. Penguin Ltd., London
Wright S., 1986: Evolution Selected Papers. (W.B. Provine ed.) University of Chicago Press, Chicago. Zeigler, R.S.p528
- **Yang X., Zhang Z., Yang H., & Jian H., 2001:** Inhibition of metabolites from *Xenorhabdus nematophilus* against *Phytophthora infestans*. Journal of Hebei agricultural university 24, 65-68p.
- **Yang X., Zhang Z., Yang H., & Jian H., 2001:** Inhibition of metabolites from *Xenorhabdus nematophilus* against *Phytophthora infestans*. Journal of Hebei Agricultural University 24, 65-68p.
- **Zwankhuizen M.J., 1998:** Potato late blight epidemics and population structure of *Phytophthora infestans*. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Netherlands, 147p.

Annexe

Composition du milieu petit pois.

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

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