

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



FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES ET BIOLOGIQUES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE

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

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

THEME

Pouvoir antifongique *in vivo* des préparations à base de plantes à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie

Présenté par : **KRITLI Sidi kacem elmehdi**

Devant le jury composé de :

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

Année universitaire 2011/2012



Remerciements

Je remercie Dieu le miséricordieux, le tout puissant qui m'a donné la santé, la volonté et la patience pour réaliser ce travail,

*Mes remerciements s'adressent à notre chef d'option et guide, professeur **HOUMANI Z.** pour son soutien, ses conseils, et sa patience tout au long de ces trois dernières années,*

*Je dois remercier fortement ma promotrice Mme **MOUMENE S.** pour son aide, sa présence et sa générosité, un grand merci pour vous Madame,*

*Je tiens également à remercier les membres de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail, et tout particulièrement. Monsieur **SNOUSSI S.A.**, qui m'a fait honneur d'accepter de présider mon jury de soutenance. Madame **CHEBATA N.**, et Monsieur **ALI OUSSALAH. A.E.H.**, qui ont acceptés de juger ce travail. Je leur suis très reconnaissant d'y avoir consacré une partie de leur temps si précieux,*

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

Et enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille, à tous mes proches et à tous ceux et celles qui ont contribué à leur manière en vue de rendre ce travail possible.

Merci.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ;

*Ma très chère mère HADJELLA HEDJALLA A. ma
source d'amour qui m'en courage et me pousse toujours vers
l'avant,*

*A mon très cher père KRITLI A.E.K., ma source
d'inspiration et de volonté,*

A ma très chère sœur,

A toute ma famille et mes proches,

A tous mes professeurs et à tous mes amis,

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Sidi Racem elmehdi

Résumé

Pouvoir antifongique *in vivo* des préparations à base de plantes à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie.

Ce présent travail est la suite de nombreuses études qui visent le bio-contrôle du mildiou de la pomme de terre par l'évaluation du pouvoir antifongique *in vivo* des préparations à base de plantes suivantes : Prêle des champs (*Equisetum arvense*), Romarin (*Rosmarinus officinalis*), Sauge (*Salvia officinalis*) et de Posidonie (*Posidonia oceanica*) sur le pouvoir phytopathogène des isolats algériens A1 et A2 de *Phytophthora infestans*. Cette étude consiste à l'inoculation des plants de la variété Spunta de pomme de terre, issus d'une culture en pots réalisée sous serre où trois modes d'application de traitements ont été retenus : incorporation des poudres végétales au sol avant plantation comme mode préventif et, pulvérisation des plants de pomme de terre par des extraits aqueux purs des plantes avant inoculation pour un mode préventif et après inoculation pour un mode curatif. Ainsi, l'ensemble des préparations à base de plantes testées a réduit considérablement l'incidence et la sévérité du mildiou. Les taux de réduction de la maladie enregistrés variaient entre 75 et 100% avec une efficacité remarquable pour le mode préventif par pulvérisation notamment avec *Salvia officinalis*, *Posidonia oceanica* et *Rosmarinus officinalis* (taux de réduction dépassant 95%). Ces résultats laissent envisager leur application en plein champ et l'exploitation de leurs potentialités biofongicides dans la gestion du mildiou de la pomme de terre.

Mots clés: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, biocontrôle, préparations à base de plantes.

Abstract

***In vivo* antifungal power of herbal preparations against *Phytophthora infestans* Mont. de Bary. causal agent of late blight potato in Algeria.**

This present work aimed with a lot of a previous work at the bio-control of the mildew of potato by the following herbal preparations: horse tail fields (*Equisetum arvense*), Rosemary (*Rosmarinus officinalis*), Sage (*Salvia officinalis*) and of Posidonie (*Posidonia oceanica*) against Algerian isolates A1 and A2 of *Phytophthora infestans*. This study consists to the inoculation of potato's plants of the Spunta variety, resulting from a culture out of pots realized under greenhouse where three application modes were retained for this study: incorporation of the herbal powders on the ground before plantation like preventive mode and, pulverization of the plants by pure aqueous extracts of the plants before inoculation for a preventive mode and after inoculation for a curative mode. Thus, the whole of the herbal preparations reduced considerably the incidence and the severity of the mildew. The reduction ratios of the disease recorded varied between 75 and 100% with a remarkable effectiveness for the preventive mode by pulverization in particular with *Salvia officinalis*, *Posidonia oceanica* and *Rosmarinus officinalis* (reduction ratio exceeding 95%). These results let consider their application in field and the exploitation of their biofungicidal potentialities in the management of late blight potato.

Key words: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, biocontrol, herbal preparations.

المخلص

القدرة ضد فطرية في الوسط الحي لمستحضرات نباتية على *Phytophthora infestans* العامل المسبب لمرض الميديو للبطاطا في الجزائر.

استندت هذه الدراسة على الاصابة الاصطناعية لنبات البطاطا سبونتا ، حيث تم القيام بأنواع مختلفة من العلاجات وفقا لعدة طرق، بدمج مساحيق نباتية في التربة قبل الزراعة، علاج نباتات البطاطا بمستخلصات نباتية مائية نقية قبل الاصابة الاصطناعية، وعلاج نباتات البطاطا بنفس المستخلصات النباتية المائية النقية بعد الاصابة.

لوحظ أن المستحضرات النباتية من أعشاب بوسيدونيا والنباتات الطبية تقلل كثيرا من المرض كل من السلالتين 1 و 2 للفطر *P. infestans* على صنف البطاطا سبونتا: معدل الحد من هذا المرض يتراوح ما بين 75 و 100%. إذا أخذنا بعين الاعتبار مختلف العلاجات ونمط استخدامها. كذلك، أظهرت النتائج أن جميع انماط العلاج أظهرت فعالية عالية مع فعالية خاصة علاج نباتات البطاطا بمستخلصات نباتية مائية نقية قبل الاصابة الاصطناعية، حيث خفضت نسبة المرض بمعدل كبير، خصوصا باستعمال *Salvia officinalis*، *Posidonia oceanica* و *Rosmarinus officinalis* (بمعدل يتجاوز 95%).

اثبتت هذه الدراسة القدرة ضد فطرية في الوسط الحي للمستحضرات النباتية ضد *P. infestans* مما يدعو للنظر في امكانية تطبيقها في الحقل، و استغلال إمكاناتها ضد فطرية لمكافحة مرض ميديو البطاطا.

الكلمات المفتاحية *Phytophthora infestans*، *Solanum tuberosum*، السيطرة البيولوجية، المستحضرات النباتية.

Liste des tableaux

Tableau 1. Classement des dix premiers pays producteurs de pomme de terre dans le monde en 2008	7
Tableau 2. Bilan global de production de la pomme de terre de consommation et de multiplication durant la campagne 2009/2010 (MADR, 2011).....	8
Tableau 3. Principales maladies et principaux ravageurs limitant la culture de la pomme de terre.....	12
Tableau 4. Données sur les espèces végétales étudiées.....	30
Tableau 5. Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements en fonction des paramètres étudiés.....	41
Tableau 6. Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie selon les modes d'application des traitements en fonction des paramètres étudiés.....	47
Tableau 7. Données sur la variété de pomme de terre testée	Annexes

Liste des figures

. Figure.1 Cycle végétatif et morphologie de la partie aérienne et la partie souterraine de <i>Solanum tuberosum</i> L.....	6
. Figure.2 Principaux pays fournisseurs de l'Algérie en semences de pomme de terre durant la campagne 2007-2008.....	11
. Figure.3 Aspect cultural d'un isolat Algérien de <i>Phytophthora infestans</i> sur milieu à base de petit pois.....	14
. Figure .4 Morphologie (A) de sporange, (B) de zoospore et (C) d'oospore.....	15
. Figure.5 Symptômes du mildiou sur les différents organes du plant de pomme de terre en plein champ.....	19
. Figure.6 Cycle de développement de <i>P. infestans</i>	21
. Figure.7 Semences des tubercules de pomme de terre pré-germées.....	32
. Figure.8 Aspect cultural et morphologique (G : X125) des isolats A1 et A2 de <i>Phytophthora infestans</i>	33
. Figure.9 Schéma du dispositif expérimental.....	37
. Figure.10 Manifestation des symptômes du mildiou de la pomme de terre sur plant entier.....	40
. Figure.11 Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon les modes d'application des traitements.....	43
. Figure. 12 Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon les modes d'application des traitements, les traitement et les souches phytopathogènes.....	43
. Figure.13 Taux d'infection des plants par la souche A1.....	44
. Figure.14 Taux d'infection des plants par la souche A2.....	45
. Figure.15 Nombre de lésions en fonction des traitements et modes de traitements appliqués (Souche A1).....	46
. Figure.16 Nombre de lésions en fonction des traitements et modes de traitements appliqués (Souche A2).....	46
. Figure.17 Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements.....	49
. Figure.18 Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements, les traitements et les souches phytopathogènes	49
. Figure.19 Développement des symptômes du mildiou sur les plants inoculés par <i>P. infestans</i> et traités selon le mode préventif par incorporation des poudres au sol.....	50

. Figure.20 Développement des symptômes du mildiou sur les plants inoculés par <i>P. infestans</i> et traités selon le mode préventif par pulvérisation.....	51
. Figure.21 Développement des symptômes du mildiou sur les plants inoculés par <i>P. infestans</i> et traités selon le mode curatif par pulvérisation.....	52
. Figure.22 Classification hiérarchique (1) et Analyse en composante principale ACP (2) de la réduction de la maladie en fonction des modes d'application des traitements, des traitements et des deux souches phytopathogènes.....	54

Liste des abréviations

A.C.P. : Analyse en composante principale

A1: Type de compatibilité sexuel A1

A2: Type de compatibilité sexuel A2

AC, MOD3 : Traitement curatif par pulvérisation d'extraits aqueux purs à base de plantes médicinales

AP, MOD2 : Traitement préventif par pulvérisation d'extraits aqueux purs à base de plantes médicinales

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

D.D.L. : Degrés de liberté

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

Fig. : Figure

G.L.M.: General Linear Model

g: Gramme

ha: Hectare

hab: Habitant

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

I.N.R.A. : Institut national de la recherche agronomique

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

mm : millimètre

P, MOD1: Traitement préventif par incorporation de poudre à base de plantes médicinales

P: Probabilité

R.M. : Réduction de la maladie

S : Spunta (variété de pomme de terre)

S.C.E. : Somme des carrés des écarts

T1 : Traitement à base de prêle + témoins positifs

T2 : Traitement à base de posidonie + témoins positifs

T3 : Traitement à base de romarin + témoins positifs

T4 : Traitement à base de sauge + témoins positifs

TAB. : Tableau

TRT. : Traitement.

SOMMAIRE

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

I Synthèse bibliographique

1.1 Aperçu sur la pomme de terre.....	3
1.2 Généralités sur l'agent causal (<i>Phytophthora infestans</i>).....	13
1.3 Généralités sur le mildiou de la pomme de terre.....	17
1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre.....	22
1.5 Généralités sur les plantes étudiées.....	26

II Matériels et méthodes

2. Introduction.....	30
2.1 Matériel biologique.....	30
2.1.1. Les plantes médicinales.....	30
2.1.2. Les tubercules de semences.....	32
2.1.3. Matériel fongique.....	32
2.2 Méthodes.....	33
2.2.1. Echantillonnage des plantes.....	34
2.2.2. Préparation des poudres et des extraits aqueux des plantes.....	34
2.2.3. Mise en culture de la pomme de terre.....	35
2.2.4. Préparation de l'inoculum.....	35
2.2.5. Evaluation du pouvoir antifongique des préparations à base des plantes sur le mildiou de la pomme de terre.....	36
2.3 Analyse statistique.....	38

III Résultats et discussion

3.1 Description des symptômes.....	40
3.2 Période d'apparition des symptômes.....	40
3.3 Incidence de la maladie.....	44
3.4 Nombre de lésions développées par plant.....	45
3.5 Réduction de la maladie.....	47
3.6 Discussion.....	55
CONCLUSION.....	59

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

INTRODUCTION

Introduction

La pomme de terre comme culture (*Solanum tuberosum L.*) est considérée comme l'une des principales cultures vivrières mondiales et figure au quatrième rang après le blé, le riz et le maïs (Widmark, 2010).

Avec une production mondiale d'environ 325 millions de tonnes en 2008, elle occupe une place importante dans les régimes alimentaires de plus de 150 pays, (FAOSTAT, 2008).

En Algérie, cette culture est parmi les espèces maraîchères, celle qui revêt, un caractère stratégique tant par la place qu'elle occupe dans l'alimentation et les superficies qui lui sont consacrées. Une superficie de 130 000 ha a été réservée à la production de cette denrée en 2010, soit 30 % de la superficie totale consacrée aux cultures maraîchères (MADR, 2011).

Toutefois, cette dernière est soumise à la pression de multiples bio-agresseurs (champignons, bactéries, virus, nématodes et insectes) pouvant soit occasionner des pertes sévères de rendement, soit détériorer la qualité des productions (Harmel et *al.*, 2008).

Le mildiou de la pomme de terre, ou brûlure tardive causée par *Phytophthora infestans* est l'une des maladies les plus redoutables et les plus préjudiciables de cette culture. Elle est présente là où la culture existe partout dans le monde et aujourd'hui encore, elle reste le principal facteur limitant à l'échelle mondiale (Duvauchelle et Andrivon, 1996). Les résultats des études de terrain montrent que les épidémies de mildiou causent des pertes de rendement allant de 40 à 70%, en fonction de la sensibilité variétale et les conditions climatiques, pouvant aller jusqu'à la perte totale de récolte si l'infection se produit tôt dans la saison (Hausladen, 2006).

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

La lutte chimique reste le moyen de contrôle le plus utilisé contre le mildiou de la pomme de terre, classant la culture par milles systèmes utilisant le plus de fongicides (Rakotonindrina, 2008). Cependant, des souches agressives de cette maladie, la plupart résistantes aux

fongicides synthétiques courants ont fait leur apparition ces dernières années, créant de nouveaux défis pour les producteurs de pomme de terre (Knepper & Sullivan, 2001).

Dans le but de réduire les risques liés à l'utilisation massive des pesticides sur la santé humaine, animale et sur l'environnement. La recherche agronomique s'est de plus en plus intéressée, au-delà des pratiques phytosanitaires alternatives à l'emploi de pesticides (Butault *et al.*, 2010). Ainsi, des études menées sur l'utilisation de produits naturels dérivés de plantes ouvrent une nouvelle voie pour le contrôle du mildiou de la pomme de terre (Wang *et al.*, 2001 ; Rashid *et al.*, 2004).

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux ont été menés dans le but de recherche des méthodes de protection du rendement plus douces, respectueuses de la santé humaine et de l'environnement (Ngamo & 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 bio-pesticides, comme moyen de préserver la diversité biologique dans son ensemble. Cependant, le développement des bio-pesticides dont l'usage des phyto-pesticides, produits de la biodiversité locale, se présente aujourd'hui comme une alternative prometteuse. Les phyto-pesticides formulés à partir des huiles essentielles et les extraits de plantes constituent une piste sérieuse (Ngamo et Hance, 2007).

Dans le cadre de la recherche sur les procédés de lutte biologique contre cette maladie, un travail récent a porté sur l'étude *in vivo* du pouvoir antifongique des extraits de plantes vis-à-vis de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie (Zarouri & Ben ameur, 2011).

Dans ce contexte, et vu l'importance économique de la culture, le présent travail vise l'étude de l'impact de l'utilisation *in vivo* des préparations à base de plantes : Prêle des champs (*Equisetum arvense*), Romarin (*Rosmarinus officinalis*), Sauge (*Salvia officinalis*), et d'une plante marine (*Posidonia oceanica*) contre *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie. Notre étude repose essentiellement sur l'évaluation des paramètres suivants :

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

- Le nombre de lésions sur les folioles des plants,
- La réduction de la maladie.

CHAPITRE I

SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Aperçu sur la pomme de terre

1.1.1. Description botanique

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

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

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

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

1.1.2. Origines et historique

La pomme de terre existe depuis plus de 8000 ans. Elle est originaire d'Amérique du sud, plus exactement près du lac Titicaca dans les hauts plateaux andins de la cordillère des Andes au sud du Pérou et au nord de la Bolivie (Spooner et *al.*, 2005 ; Anonyme, 2012). Elle fut introduite en Europe par l'Espagne, il y a plus de quatre siècles en 1534, puis en France et en Angleterre (Anonyme, 2006). Propagée aussi bien par les Anglais que par les Espagnols, la pomme de terre a gagné le reste de l'Europe (Robuchon, 1994 ; Rousselle et *al.*, 1996). Depuis, elle s'est répandue dans le monde entier (Anonyme, 2006). Cette culture a été ramenée et propagée par les maures andalous en Algérie. Elle a été faite par les français en 1856 et en 1898, mais notre pays était déjà un pays importateur de pomme de terre de consommation (INVA, 2007 ; Carrier, 2008).

1.1.3. Exigences culturelles

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

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

Le cycle de la pomme de terre est très court. Il dure trois à quatre mois, depuis le semis jusqu'à la destruction de l'appareil végétatif (Martin, 2004).

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

1.1.4.1. Phase de germination

Lorsqu'un tubercule germé est planté en terre, ses germes se transforment en tiges feuillées qui donnent, au-dessus du sol, des rameaux, et en dessous des stolons (Madec, 1966 in Montary, 2007) ; c'est la phase dite de croissance.

1.1.4.2. Phase de tubérisation

Elle commence par l'arrêt de l'élongation des stolons et la formation des ébauches des tubercules, qui une fois différenciés, vont grossir en emmagasinant des substances de réserve formées à partir des métabolites synthétisés par la plante au niveau du feuillage (Jolivet, 1969 in Montary, 2007).

La maturation des tubercules se traduit par un jaunissement du feuillage suivi d'un dessèchement total du système aérien.

1.1.4.3. Phase de repos végétatif

Après la récolte, durant cette phase, les tubercules même placés dans des conditions optimales de température et d'humidité, leurs bourgeons sont incapables de croître pour produire des germes (Madec, 1966 in Montary, 2007).

A la fin du repos végétatif, le germe entre en croissance s'il n'y a pas de dormance induite par les conditions du milieu.

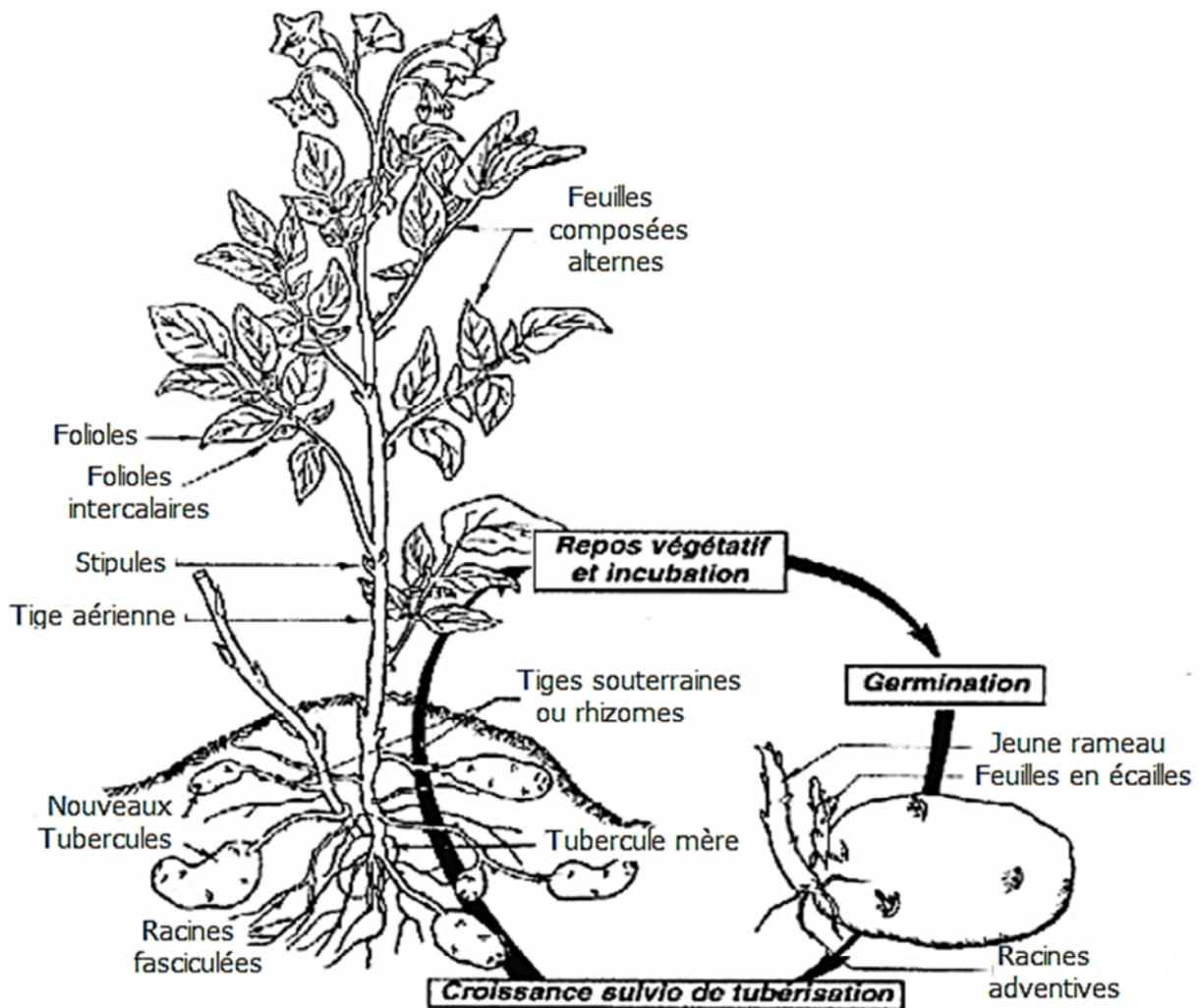


Figure.1 Cycle végétatif et morphologie de la partie aérienne et la partie souterraine de *Solanum tuberosum* L. (Soltner, 1988)

1.1.5 Importance économique

La Pomme de terre est une culture stratégique par excellence que ce soit dans les pays développés ou ceux en voie de développement. Elle est d'une valeur énergétique

considérable ; et elle constitue l'une des plus grandes cultures vivrières dans le monde. Cette plante est essentiellement connue par ses utilisations diverses dans l'alimentation de l'homme, de l'animal et dans les industries de transformation (FAOSTAT, 2008 ; Anonyme, 2012). La pomme de terre est cultivée dans 170 pays qui regroupent plus de trois quarts de la population mondiale. Au Marché mondial et européen, elle occupe la quatrième place après le blé, le maïs et le riz sur le plan de consommation (FAOSTAT, 2008 ; Anonyme, 2012).

La production mondiale de pomme de terre a augmenté de 20 % au cours des vingt dernières années, pour atteindre 325 millions de tonnes en 2010 pour 20 millions d'hectares (Barat et al., 2012). L'Asie et l'Europe sont les pays les plus grands producteurs de la pomme de terre, présentant plus de 80% de production mondiale (Tableau.1). La Chine et l'Inde sont les leaders représentant le un tiers de production mondiale (Anonyme, 2012). En raison de ses facultés d'adaptation sous des climats très divers, cette culture peut donc contribuer de manière significative à atteindre le premier des objectifs du millénaire pour le développement, qui est de réduire de moitié l'extrême pauvreté et la faim (Anonyme, 2012). En Afrique, elle occupe un rang inférieur avec une production d'environ 9 millions de tonnes (environ 3% de la production mondiale), dont plus de la moitié dans les pays du Maghreb (Hamdani, 2008).

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

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

1.1.6 Situation de la culture de pomme de terre en Algérie

Au cours des trois dernières décennies, la pomme de terre a acquis une place de choix dans le modèle de consommation aux côtés du blé et du lait. En référence aux disponibilités sur le marché domestique, la consommation « par tête » aurait doublée puisqu'elle est passée de 22 Kg/habitant par an en 1967 à 49 Kg/habitant en 2005 (Chehat, 2008).

L'Algérie est ainsi le deuxième producteur de pomme de terre dans le monde arabe après l'Égypte et le troisième producteur en Afrique. Cette augmentation de la production est due essentiellement à la politique adoptée par l'Etat dans le cadre du Plan National de Développement Agricole (PNDA) (Kessaci, 2006).

La pomme de terre est cultivée sur tout le territoire, y compris dans les oasis du sud du pays, avec l'apparition récente du bassin spécifique d'El Oued, où la pomme de terre est devenue une spéculation majeure en quelques années. Cependant, si l'on retient les quinze wilayate où elle occupe plus d'un millier d'hectares, on pourra alors distinguer dans les zones du littoral et du sub-littoral, trois bassins de production (Chehat, 2008) :

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

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 (ha)	Superficie récoltée (ha)	Production obtenue (q)	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 Abbes	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
Béjaia	396	396	103633	262
Blida	963	963	442223	459
Bouira	4742	4586	1421072	310
Tizi Ouzou	1660	1575	310552	197
Alger	2055	2052	661025	322
Djelfa	1820	1810	307400	170
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 culturale de la pomme de terre lui permet de s'adapter à la diversité des agroécosystèmes algériens et la courte période de croissance et de développement de la plante permet la réalisation de trois récoltes par an.

En terme d'importance, les cultures de saison (plantation janvier-mars) sont dominantes et occupent la première place tant par les surfaces occupées (50 000 ha en moyenne) que par leur participation au total de la production, suivies par les cultures d'arrière-saison (plantation juillet-août) qui occupent la seconde place avec près de 30 000 ha.

La meilleure rentabilité économique qu'assure généralement la pomme de terre d'arrière-saison est le principal moteur de la forte croissance des superficies plantées au cours de la dernière décennie. Enfin viennent les cultures de primeur (plantation octobre-novembre) qui occupent qu'une place mineure (moins de 5 000 hectares) dans l'ensemble des superficies et de la production (Chehat, 2008).

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

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

Durant la campagne agricole 2007-2008, l'Algérie a importé environ 96.238,45 tonnes de semences de pomme de terre. Cette quantité a été livrée par dix-neuf pays fournisseurs parmi lesquels se détachent cinq pays membres de l'Union européenne (Figure.2) ; les Pays Bas constituent le premier fournisseur de semences de pomme de terre pour l'Algérie avec 71 % des achats, suivi de la France et le Danemark avec 11 %.

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

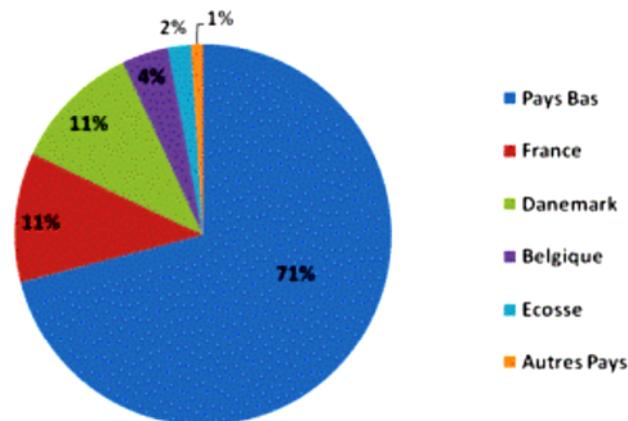


Figure.2 Principaux pays fournisseurs de l'Algérie en semences de pomme de terre durant la campagne 2007-2008 (Source : MADR, 2008).

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

1.1.8 Principaux problèmes phytosanitaires de la pomme de terre

La production de pomme de terre est confrontée à de nombreuses attaques de divers pathogènes et ravageurs notamment les champignons, les bactéries, les virus et les viroïdes, les phytoplasmes, les insectes et les nématodes (Mulder et Turkensteen, 2005).

En infectant le feuillage, les racines et/ou les tubercules, les pathogènes provoquent une réduction de la levée, un affaiblissement des plantes, une mort prématurée et/ou une mauvaise qualité des tubercules.

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

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

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

Le tableau ci-dessous présente une liste exhaustive de l'ensemble des maladies et ravageurs de la pomme de terre qui interviennent de la plantation à la conservation.

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

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

1.2. Généralités sur l'agent causal (*Phytophthora infestans*)

1.2.1. Historique

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

1.2.2 Position taxonomique

Phytophthora infestans est un Oomycète de la famille des Pythiacées.

Les Oomycètes sont des organismes fongiformes ayant apparus vraisemblablement au précambrien, à partir des algues. Les Oomycètes se différencient des champignons vrais par l'absence de la chitine au niveau de la paroi, la nature du stérol de leur membrane plasmique (le fucostérol au lieu de l'ergostérol) ainsi que par la nature de leur substance de réserve (les mycolaminarine au lieu du glycogène) (Lepoivre, 2003). Les Oomycètes sont des Straminopiles, et sont donc phylogénétiquement plus proches des algues brunes que des champignons supérieurs (Kroon et al., 2004 ; Avila-Adame et al., 2006 in Montarry, 2007). Selon Kirk et al. (2008), la classification de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary est comme suit :

Règne : *Chromistan* ou *Straminopila*

Phylum : *Oomycota*

Classe : *Peronosporea*

Ordre : *Peronosporales*

Famille : *Peronosporaceae*

Genre : *Phytophthora* de Bary.

1.2.3. Aspect cultural

Phytophthora infestans se comporte dans la nature comme un biotrophe obligatoire (Isaac, 1992 ; Kosack et Parker, 2003), sans capacité de survie saprophyte (Andrivon, 1995), mais il peut tout de même être isolé et cultivé en milieu de culture semi naturel à base de petits pois (Figure.3).

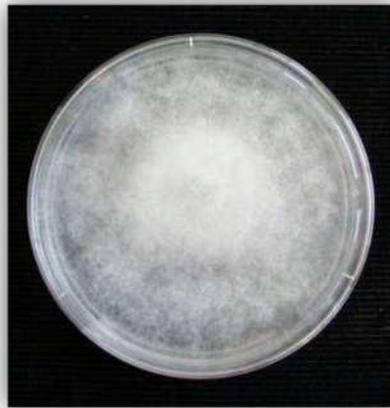
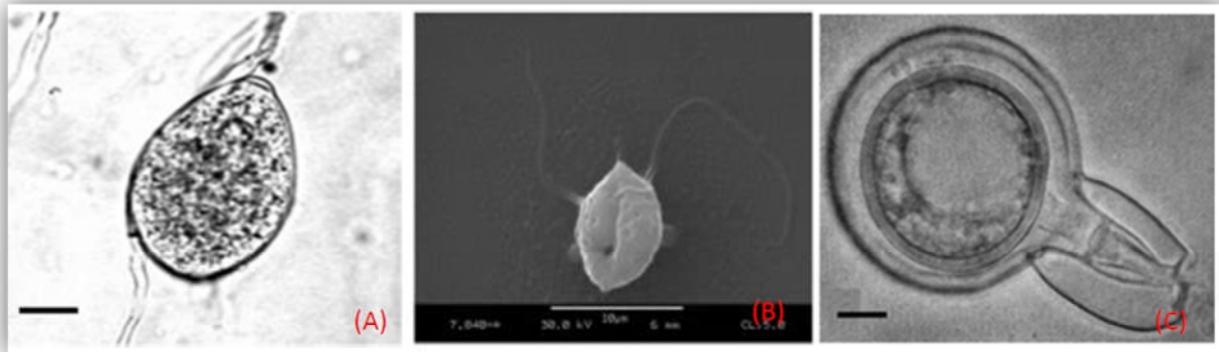


Figure.3 Aspect cultural d'un isolat Algérien de *Phytophthora infestans* sur milieu à base de petit pois (Ahmed-serrir & Moussaoui, 2011).

1.2.4. Aspect morphologique

Phytophthora infestans possède un mycélium coenocytique hyalin et à développement endogène. Le mycélium se développe entre les cellules des tissus infectés, dans lesquelles il forme des suçoirs (Lepoivre, 2003). Les sporangiophores émergent souvent à travers les stomates. Le caractère morphologique principal de ce pathogène 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 Schltz, 1981) (Figure.4). Ces derniers en position terminale ont une forme et une taille qui varient selon les isolats. Les sporanges sont citriformes ou limoniformes et possèdent une papille apicale. Les sporanges de *P. infestans* sont de forme ovoïde, à elliptique effilé à la base, est renferment des cellules mobiles appelées zoospores qui assurent la reproduction asexuée.

Ces zoospores se déplacent grâce à deux flagelles dissemblables ; le flagelle orienté postérieurement est lisse. le flagelle orienté antérieurement est couvert de poils particuliers ou masigonèmes, tubulaires et tripartites, d'où le nom d'hétérocontes (Bouchet et *al.*, 2000). Les oospores sont pour la plupart de forme aplerotoc avec un diamètre moyen d'environ 30 μm (Gallegly et Hong, 2008). Ces derniers en germant produisent des sporanges. Les oogones sont globuleuses, d'un diamètre de 37 μm , alors que les anthéridies sont amphigènes et généralement de forme allongée (Gallegly et Hong, 2008).



**Figure .4 Morphologie (A) de sporange, (B) de zoospore et (C) d'oospore. Bar = 10 μm .
D'après <http://www.esmisab.univ-brest.fr> (photographie : Noyd R K 2000. Carte de
références mycologie. St Paul, Minnesota, APS Press).**

1.2.5. Compatibilité sexuelle « mating type » de *P. infestans*

Le type de compatibilité est un trait important pour la caractérisation des populations de *P. infestans*. La bisexualité chez cette espèce a été décrite pour la première fois au Mexique par Gallegly et Galindo (1958) et Smoot et *al.* (1958). Ces auteurs ont démontré que la reproduction sexuée n'est réalisable qu'après confrontation entre deux mycéliums de type sexuel différent « A1 et A2 ». *Phytophthora infestans* est donc une espèce hétérothalique. La production d'oospores (Figure.4), intervient uniquement lorsque des isolats appartenant à des types sexuels opposés, sont présents.

La reproduction sexuée se réalise par les anthéridies et les oogones des deux types de thalles A1 et A2.

Pour ce qui est du déterminisme génétique du type de compatibilité sexuel, ce caractère est codé par un seul gène (Judelson *et al.*, 1995).

A partir des années 1980, la fréquence d'apparition des isolats du type de compatibilité sexuel A2 devient de plus en plus important en Europe (Drenth *et al.*, 1993), aux Etats Unis (Dorrance *et al.*, 1999) et au Canada (Daayf et Platt, 1999). Cette nouvelle donnée constitue une première indication du changement des populations de *P. infestans* et de leur répartition géographique dans le monde (Fry *et al.*, 1992 ; Zwankhuizen, 1998).

En Europe, le type A2 a d'abord été mis en évidence en Suisse en 1981 (Hohl et Iselin, 1984). Il a ensuite été identifié dans de nombreux pays du nord tels que les Pays-Bas (Frinking *et al.*, 1987), l'Allemagne (Rullich et Scheber, 1988), la Grande-Bretagne (O'Sullivan et Dowley, 1991), la Pologne (Therrien *et al.*, 1993), la Hongrie (Bankonyi et Ersek, 1997) et la Norvège (Hermansen *et al.*, 2000).

En France, quelques rares isolats du type de compatibilité sexuel A2 ont été détectés en 1997 et 1998, essentiellement sur tomate et dans des jardins privés (Lebreton *et al.*, 1998). Pour ce qui est des pays voisins de l'Algérie, El Ismaili (1994, in Hammi, 2003) a suggéré la présence du type de compatibilité sexuel A2 au Maroc en 1994 après avoir observé quelques oogones et anthéridies sur une culture pure de *P. infestans*. D'autres travaux ont confirmé la présence de ce type de compatibilité sexuel dans ce pays par Hafidi *et al.* (2002) et Hammi, (2003). La présence de ce type a été démontré en 2006 en Tunisie pour la première fois par Jmour et Hamada (2006) et en 2007 en Algérie (Ahmed-Serrir et Moussaoui, 2010).

1.2.6. Spécificité parasitaire

En plus de la pomme de terre et de la tomate, plusieurs solanacées constituent des hôtes préférés de *P. infestans*. En effet, plusieurs autres cultures appartenant à d'autres genres et espèces d'arbres tropicaux et arbustes se sont révélés des hôtes pour ce pathogène (Vartanian et Endo, 1985). Erwin et Ribeiro (1996) ont rapporté, suite à des inoculations artificielles au laboratoire ou à des observations en plein champ, que le *P. infestans* peut attaquer 89 espèces végétales. Christine *et al.* (2000) ont conclu que la large apparition de nouveaux génotypes de *P. infestans* a contribué à l'élargissement de la gamme d'hôtes de ce pathogène. Aux Etats Unis, plusieurs études ont confirmé que la Morelle (*Solanum sarachioides*), Petunia (Petunia

hybrida) et l'aigre-doux (*Solanum dulcamara*) constituent aussi des hôtes pour ce pathogène (Laing, 1998).

1.3. Généralités sur le mildiou de la pomme de terre

1.3.1. Origine

De nombreux auteurs pensent que le centre d'origine de la maladie serait la vallée de la Toluca au Mexique (Grünwald *et al.*, 2000 ; Grünwald et Flier, 2005), où la diversité des populations de *Phytophthora infestans* est maximale (Niederhauser, 1991) et que la reproduction sexuée semble exister depuis toujours (Lacroix, 1999). 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. Le mildiou de la pomme de terre est aujourd'hui présent de façon quasi mondiale. La première épidémie 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 (Sedigui *et al.*, 1997 in Hammi, 2003).

Les pertes de rendement engendrées par cette maladie peuvent atteindre 100% ; en moins de trois semaines une culture de pomme de terre peut être entièrement détruite (Gaucher *et al.*, 1998).

1.3.2. Symptomatologie

Le mildiou est une maladie redoutable. Elle peut affecter tous les organes de la plante, les jeunes pousses, les feuilles, les pétioles, les bouquets terminaux, les tiges et les tubercules. Les attaques précoces induisent surtout une diminution de la photosynthèse, alors que les attaques tardives conduisent à une baisse de la qualité des tubercules (Radtke et Rieckmann, 1991).

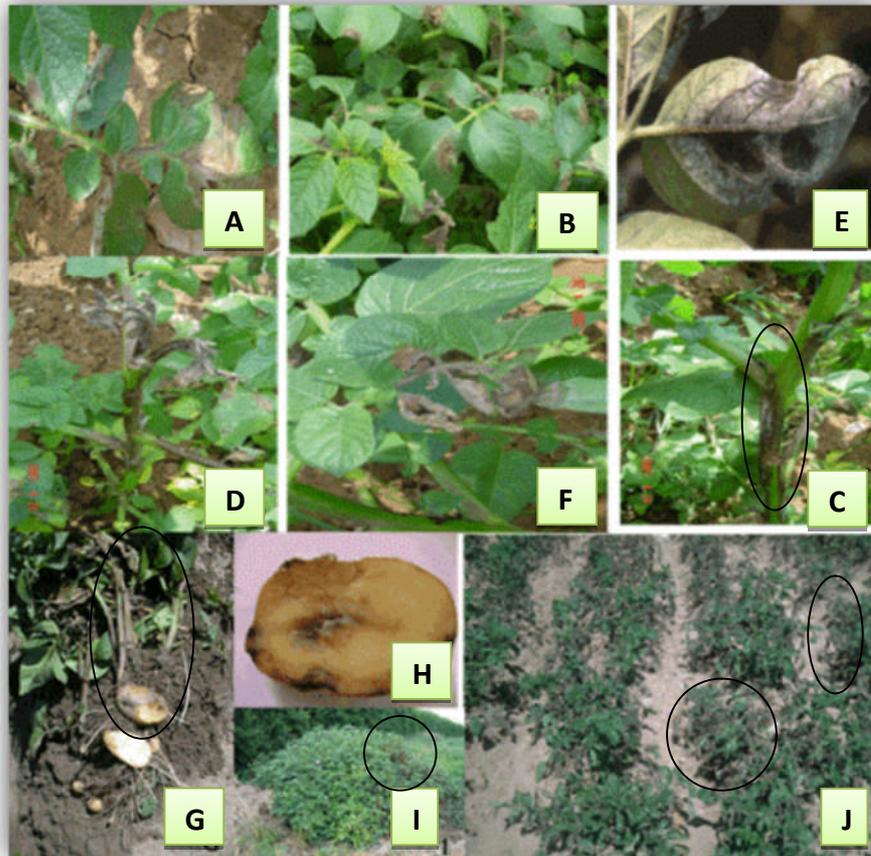
Sur la face supérieure des feuilles, on observe l'apparition de petites taches décolorées qui brunissent et sont entourées d'un halo jaune d'aspect huileux. Sur la face inférieure les fructifications de *P. infestans* (sporangies et sporangiophores) apparaissent sur le pourtour des taches et donnent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

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

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

Les tubercules atteints présentent des taches au contour mal défini, de couleur brune ou gris bleuâtre qui peuvent être un peu déprimées. Une coupe du tubercule montre des zones marbrées de couleur rouille en surface qui peuvent s'étendre vers le centre du tubercule.

Ces tubercules pourrissent éventuellement dans le sol ou en stockage. Ils libèrent une odeur caractéristique et peuvent contaminer les tubercules sains qui seraient en contact (Figure.5).



A, B et E: Symptômes sur feuilles

C: sur tige

D et F : Au niveau des bouquets terminaux

G et H: sur tubercules

I : sur plante adventice.

J: Au champ, les plantes atteintes sont noirâtres, comme si elles étaient brûlées.

Figure.5 Symptômes du mildiou sur les différents organes du plant de pomme de terre en plein champ (Schepers, 2007).

1.3.3. Importance de la maladie

Le mildiou (*Phytophthora infestans*) est une maladie cryptogamique redoutable de la pomme de terre. Ces dernières années, des souches extrêmement agressives, la plupart résistantes aux fongicides synthétiques courants ont fait leur apparition, créant de nouveaux défis pour les producteurs de pomme de terre et de tomate. Elle peut détruire toute une récolte et se traduire par une perte complète de rendement (Knepper et Preston, 2004). En effet, cette dernière peut atteindre les 100%, et en moins de trois semaines, une culture de pomme de terre peut être entièrement détruite (Gaucher et al., 1998). Les attaques précoces induisent une diminution de la photosynthèse, alors que les attaques tardives conduisent à une baisse de la qualité des tubercules (Radtke et Rieckmann, 1991 ; Dubois, 2009).

1.3.4. Cycle biologique

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

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

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

feuillage se dessèche, les spores tombent au sol et se fixent au tubercule pour l'infecter (Figure.6) (Polèse, 2002).

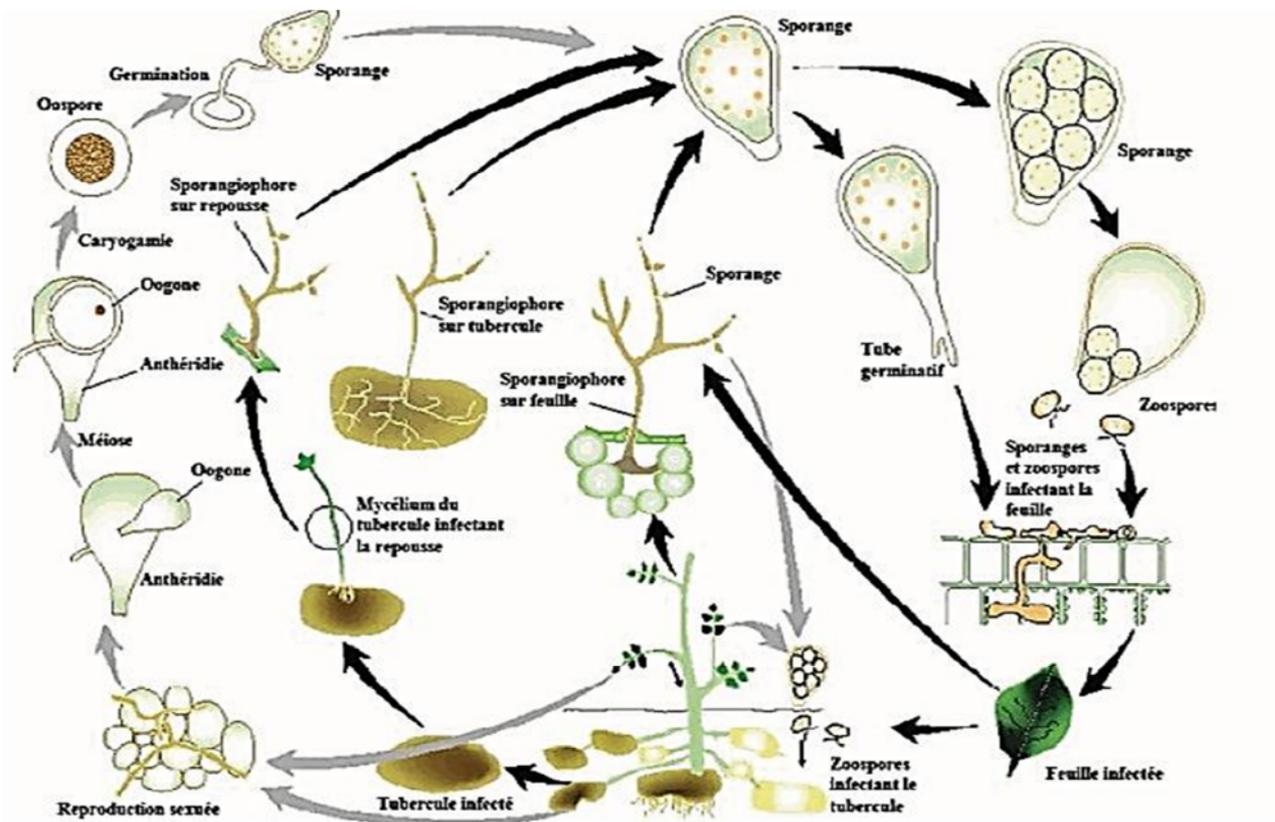


Figure.6 Cycle de développement de *P. infestans*.

D'après : <http://www.eucablight.org>.

1.3.5. Résistance de *P. infestans* aux fongicides

Des isolats de *P. infestans* ont manifesté *in vitro* ou *in vivo* des niveaux élevés de résistance à certaines molécules tels que la streptomycine, le chloramphenicol, la blasticidine, l'oxytetracycline, la trichothecine et l'acriflavine avec ou sans utilisation des agents mutagènes (Shaw, 1991). La plus importante résistance des isolats de *P. infestans* est celle liée à des fongicides de la classe des phénylamides, dont le fongicide le plus important et le plus actif est le métalaxyl qui est un fongicide systémique (apoplastiques). Toutefois, l'utilisation massive de fongicides systémiques a conduit à sélectionner des isolats résistants à

ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides (métalaxyl et son énantiomère méfénoxam, béalaxyl, oxydixyl) (Gisi et Cohen, 1996 in Montarry, 2007). Niklaus et Wilbert (2005) rapportent qu'il y a deux observations concernant la résistance au métalaxyl dans les populations mexicaines de *P. infestans*. La première consiste en une résistance dans les populations du pathogène au fongicide sans qu'il soit exposé directement au produit. Une fois exposé au métalaxyl, le *P. infestans* développe rapidement la résistance.

1.4. Lutte contre le mildiou de la pomme de terre

La lutte contre le mildiou de la pomme de terre doit être obligatoirement préventive. La priorité de la stratégie est d'empêcher autant que possible la présence et la conservation de l'agent phytopathogène dans la parcelle (Rousselle et *al.*, 1996). Lorsque les infections sont déclarées, il faut limiter le plus possible leur développement pour préserver le feuillage, mais aussi pour éviter la contamination ultérieure des tubercules. Cependant, plusieurs méthodes de lutte peuvent être aussi préconisées.

1.4.1. La lutte préventive ou prophylactique

La lutte prophylactique consiste à limiter au maximum les sources d'inoculum primaire par rotations culturales et élimination des tas de déchets issus de la récolte précédente par des traitements thermiques, mécaniques ou chimiques (Jensen, 1887 in Montarry, 2007). Ces mesures sont essentielles pour limiter l'importance des attaques et retarder leur développement. Enfin, la destruction des fanes avant la récolte, et d'autres mesures peuvent également contribuer à réduire le risque d'infection des cultures à savoir :

- Eviter de cultiver les variétés de pomme de terre sensibles dans les zones reconnues favorables au mildiou (INPV, 1984) ;
- Pratiquer un buttage soigné afin de préserver les tubercules des contaminations (INPV, 1984).

1.4.2. La lutte chimique

La lutte chimique contre le mildiou est basée sur des traitements préventifs, avec l'utilisation par alternance de fongicides de contact et systémiques (Gaucher et *al.*, 1998).

En culture, l'application des produits de contact (traitement de couverture) se fait lorsque les plants ont une hauteur de 10 à 15 cm (avant que les plants ne se touchent sur les rangs). Ces applications doivent être répétées régulièrement en cas de formation des nouvelles feuilles. Les applications des fongicides systémiques sont assurées en période de forte croissance de la plante jusqu'au défanage afin d'éviter les risques du développement des spores et leurs descentes vers les tubercules. Une fois que le mildiou apparaît, nous devons raccourcir les intervalles d'applications des traitements fongicides en tenant compte de la rémanence de chaque produit utilisé.

Des systèmes de prévisions des risques ont été développés afin de rationaliser l'utilisation des traitements chimiques. Ils sont basés sur le développement de modèles, tels « Guntz et Divoux » utilisés en France depuis 1963, ou « Blitecast » utilisés aux Etats- Unis, et fondés sur la prévision des périodes climatiques favorables aux contaminations (Montarry, 2007).

Toutefois, l'utilisation massive de fongicides systémiques a conduit à sélectionner des isolats résistants à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides (métalaxyl et son énantiomère méfénoxam, béalaxyl, oxydixyl) (Gisi et Cohen, 1996 in Montarry, 2007).

Niklaus et Wilbert (2005) ont rapporté l'apparition de la résistance au métalaxyl dans les populations mexicaines de *P. infestans* sans qu'ils soient exposés directement au produit ou une fois exposé à ce dernier.

1.4.3. La lutte génétique

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

Les allemands, en 1925, ont obtenu une variété entièrement résistante au mildiou portant le gène de résistance dénommé R1 (Lepoivre, 2003). Des gènes similaires ont également été identifiés chez d'autres espèces apparentées à *S. tuberosum*, telles *S. bulbocastanum* (Helgeson et al., 1998 ; Song et al, 2003 in Montarry, 2007), *S. berthaultii* (Ewing et al., 2000 ; Rauscher et al., 2006 in Montarry, 2007) ou *S. phureja* (Sliwka et al., 2006 in Montarry, 2007). Cependant, ces gènes, conférant à la plante une résistance totale, sont très rapidement contournés par les populations parasitaires et ne peuvent constituer à eux seuls une méthode de lutte durable. Les sélectionneurs s'orientent donc actuellement vers la recherche de résistances polygéniques (Montarry, 2007). A l'échelle d'une parcelle ou d'une région de production, les associations variétales semblent pouvoir être des moyens complémentaires de lutte (Mundt et al., 2002 ; Andrivon et al., 2003 in Montarry, 2007).

1.4.4. La lutte biologique et l'intérêt des plantes médicinales dans les cultures biologiques

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux travaux ont été menés dans le but de recherche des méthodes de protection du rendement plus douces, respectueuses de la santé humaine et de l'environnement (Ngamo & 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 bio-pesticides, comme moyen de préserver la diversité biologique dans son ensemble. Cependant, le développement des bio-pesticides dont l'usage des phyto-pesticides, produits de la biodiversité locale, se présente aujourd'hui comme une alternative prometteuse. Les phyto-pesticides formulés à partir des huiles essentielles et les extraits de plantes constituent une piste sérieuse (Ngamo et Hance, 2007).

Les biopesticides présentent l'avantage de ne pas être toxiques pour les vertébrés, d'être biodégradables et surtout d'avoir une spécificité une efficacité d'action à faible dose les organismes nuisibles (Jaoua, 2005).

Plusieurs travaux se sont intéressés aux effets toxiques des *Allium* sur les champignons pathogènes des plantes, cependant Grainge & Ahmed (1988) citent de nombreux

champignons phytopathogènes : *Alternaria tenuis*, *Aspergillus niger*, divers *Fusarium* dont *F. oxysporum* et *F. poae* ou *Verticillium albo-atrum*.

Les plantes ont développé des mécanismes de défense naturelle pour se protéger, bien longtemps avant que l'homme ne joue un rôle actif pour leur protection. On connaît que les plantes synthétisent une variété de groupes de composés bioactifs dans leurs tissus végétaux comme métabolites secondaires (Castillo et *al.*, 2010).

Les extraits de ces plantes, sont utilisés dans la nourriture, le cosmétique et les industries pharmaceutiques (Stammati et *al.*, 1999). Plusieurs travaux ont montré que beaucoup d'extraits possèdent des activités biologiques diverses, y compris antibactériennes, antifongiques, antivirales, insecticides et anti oxydantes (Sattar et *al.* 1995).

Les substances de défense synthétisées par les végétaux sont des sources d'inspiration de plus en plus fréquentes pour la recherche de nouveaux produits phytosanitaires. Les produits naturels sont de plus en plus recherchés pour une agriculture durable, l'utilisation sans discernement des pesticides conventionnels de synthèse ayant eu un impact écologique et sanitaire néfaste (résistance des ravageurs, contamination de l'environnement et des écosystèmes, perte de la biodiversité...). Le recours au monde végétal et aux molécules qui ont permis aux plantes de se protéger contre les ennemis naturels devient donc indispensable (Regnault, 2008).

La plupart des composés extraits des végétaux ont montré des effets sur le développement de la croissance mycélienne de plusieurs champignons phytopathogènes et des effets sur leur sporulation et leur germination ; et aux limites un effet fongistatique pour compléter l'inhibition (Castillo et *al.*, 2010).

Dans ce sens, plusieurs plantes ont été valorisées dans le cadre de la lutte contre l'agent pathogène du mildiou de la pomme de terre (Latten, 1994; Blaeser, 1999; Neuhoff, 2002).

1.5. Généralités sur les plantes étudiées

1.5.1. La prèle des champs (*Equisetum arvense*)

D'après Domingo (2006), *Equisetum arvense* appartient au règne des *Plantae*, à la division des *Equisetophyta*, à la classe des *Equisetopsida*, à l'ordre des *Equisetales*, à la famille des *Equisetaceae* et au genre *Equisetum*.

La prèle des champs, parfois appelée queue de rat, de renard ou de cheval, est une espèce végétale vivace de 20 à 50 cm de haut vivant dans les lieux humides ; elle présente deux types de tiges : les tiges fertiles et les tiges stériles. Dans les deux cas, les feuilles sont réduites à de simples collerettes situées au niveau des nœuds des tiges, sous forme d'une courte gaine dentée. Chez cette espèce, cette gaine porte de 6 à 12 dents, de couleur sombre (Auger et al., 1982 ; Domingo, 2006).

Les constituants volatils des tiges de Prèle ont été examinés pour l'évaluation de l'activité antimicrobienne de cette plante contre une gamme de microorganismes. Ces constituants ont montré que la plante possède un large spectre de pouvoir antimicrobien (Radulović, 2006).

Le purin de prèle s'avère être un excellent fongicide naturel contre les maladies cryptogamiques telles que mildiou, rouille, cloque, moniliose, tavelure, il contient beaucoup de silice, qui améliore la résistance des cultures aux maladies (Radulović, 2006).

1.5.2. La Posidonie de Méditerranée (*Posidonia oceanica*)

Selon Boudouresque et al. (2009), la plante marine *Posidonia oceanica* appartient au règne des *Plantae*, au sous règne des *Tracheobionta*, à la division des *Magnoliophyta*, à la classe des *Liliopsida*, à la sous classe des *Alismatidae*, à l'ordre des *Najadales*, à la famille des *Posidonaceae* et au genre *Posidonia*.

La Posidonie est une espèce de plante aquatique endémique de la Mer Méditerranée ; Ce n'est pas une algue, bien qu'elle vive sous l'eau, il s'agit d'une plante angiosperme monocotylédone sous-marine. Elle possède des racines, une tige rhizomateuse, et des feuilles rubanées mesurant jusqu'à un mètre de long et disposées en touffes de 6 à 7. Elle fleurit en automne et produit au printemps des fruits flottants. Cette espèce ne se trouve qu'en Méditerranée,

occupant environ 3 % du bassin (correspondant à une superficie d'environ 38 000 km²). Elle vit dans des eaux très limpides, elle peut supporter des températures allant de 10 à 28 °C, elle nécessite une salinité relativement constante, ce qui la rend rare près des embouchures de cours d'eau ou des lagunes, elle nécessite également une forte luminosité et elle colonise les fonds sablonneux ou vaseux. Elle forme de vastes herbiers entre la surface et 40 m de profondeur. Ces derniers constituent l'écosystème majeur de Méditerranée et jouent un rôle important dans la protection des côtes contre l'érosion (Boudouresque et *al.*, 2009).

Plusieurs études ont montré que les extraits aqueux de la posidonie ont une forte activité antibactérienne et antifongique. Cette dernière ne semble pas être influencée par la pollution, mais varie sensiblement selon la région géographique (Bernard et *al.*, 2006).

1.5.3. Le Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

D'après Rameau (2008), le romarin (*Rosmarinus officinalis*) appartient au règne des *Plantae*, à la division des *Magnoliophyta*, à la classe des *Magnoliopsida*, à l'ordre des *Lamiales*, à la famille des *Lamiaceae* et au genre *Rosmarinus*.

Le Romarin ou Romarin officinal, poussant à l'état sauvage sur le pourtour méditerranéen, en particulier dans les garrigues arides et rocailleuses, sur terrains calcaires ; peut atteindre jusqu'à 1,50 m de hauteur, voir jusqu'à 2 m en culture. Il est reconnaissable en toute saison à ses feuilles persistantes sans pétiole, coriaces, beaucoup plus longues que larges, aux bords légèrement enroulés, vert sombre luisant sur le dessus, blanchâtres en dessous (Rameau, 2008).

La floraison commence dès le mois de février, parfois en janvier, et se poursuit jusqu'en avril-mai. Certaines variétés peuvent fleurir une deuxième fois en début d'automne. La couleur des fleurs, qui se présentent en grappes assez semblables à des épis, varie du bleu pâle au violet. Comme pour la plupart des Lamiacées, le fruit est un tétrakène. Ce dernier est de couleur brune (Rameau, 2008).

Les extraits du romarin ont une activité antioxydante puissante et sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire. Cette activité a été associée à la présence de plusieurs di-terpènes phénoliques comme l'acide carnosique, carnosol, rosmanol, rosmariquinone et rosmaridiphenol. (Aruoma et *al.*, 1992; Basaga et *al.*, 1997; Georgantelis et *al.*, 2007).

En plus de l'inhibition d'oxydation de lipide, plusieurs auteurs ont rapporté qu'un nombre de composés contenus dans les extraits de romarin possède des propriétés antibactériennes et antifongiques (DelCampo et *al.*, 2000 ; Djenane et *al.*, 2002).

L'activité antifongique des extraits de *Rosmarinus officinalis* L. a été évaluée contre des champignons isolés du blé. L'effet inhibiteur de ces extraits sur leur croissance mycélienne montre que leur utilisation aux faibles concentrations pourraient avoir un potentiel significatif pour le contrôle biologique des champignons phytopathogènes tel que *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* et *Fusarium oxysporum* (Centeno et *al.*, 2010 ; Mehmet et Chalchat, 2008).

1.5.4. La Sauge (*Salvia officinalis*)

Selon Rameau (2008), *Salvia officinalis* appartient au règne des *Plantae*, au sous règne des *Tracheobionta*, à la division des Magnoliophyta, à la classe des *Magnoliopsida*, à la sous classe des *Asteridae*, à l'ordre des *Lamiales*, à la famille des *Lamiaceae*, et au genre *Salvia*.

La sauge officinale est un sous-arbrisseau, souvent cultivé dans les jardins, rare à l'état sauvage. Il atteint une hauteur de l'ordre de 1m. C'est une plante ramifiée, aux tiges de section carrée, à la base lignifiée. La racine de la sauge est brunâtre et fibreuse. La tige est très rameuse, mesure 20 à 30 centimètres. Les feuilles, opposées, elliptiques, inférieures pétiolées, rugueuses, à bord dentelé, réticulées, molles, à dessus blanchâtre, persistent l'hiver grâce au revêtement de poils laineux qui les protège. Les fleurs, bleu-rose lilas, visibles de mai à août, sont grandes, groupées à la base des feuilles supérieures, l'ensemble forme de grands épis (Rameau, 2008).

Quelques composants de *S. officinalis* présentent une activité antimicrobienne et une forte activité antifongique (Mona et Hussein, 2008) ; notamment en ce qui concerne l'agent du mildiou de la pomme de terre *Phytophthora infestans* (Blaeser et Steiner, 1998).

CHAPITRE II

MATÉRIELS
&
MÉTHODES

Introduction

Notre expérimentation s'est déroulée dans la station régionale de la protection des végétaux (S.R.P.V.) de Boufarik, wilaya de Blida. Elle repose sur l'évaluation du pouvoir antifongique *in vivo* des préparations à base de plantes sur le développement du mildiou de la pomme de terre causé par *Phytophthora infestans*. Ce travail nécessite l'utilisation d'un matériel biologique sur la base d'une méthodologie stricte à plusieurs étapes.

2.1. Matériel biologique

Le matériel biologique est représenté par le matériel végétal constitué par les plantes médicinales et les tubercules de semences de la pomme de terre de la variété Spunta ainsi que le matériel fongique.

2.1.1. Les plantes médicinales

Quatre espèces végétales : la prêle des champs (*Equisetum arvense L.*), la posidonie (*Posidonia oceanica*), le romarin (*Rosmarinus officinalis L.*) et la sauge (*Salvia officinalis L.*) ont été retenues pour notre étude.

Les données relatives aux échantillons de plantes récoltés ont été résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau.4 Données sur les espèces végétales étudiées (photos originales)

Données	Photos
<p>Famille : <i>Equisetaceae</i></p> <p>Nom latin : <i>Equisetum arvense L.</i></p> <p>Nom commun : Prêle des champs</p> <p>Nom arabe : ذيل الحصان</p> <p>Partie utilisée : tiges feuillues</p> <p>Lieu de récolte : SRPV de Boufarik (wilaya de Blida)</p>	

Famille : *Posidoniaceae*

Nom latin : *Posidonia oceanica*

Nom commun : Posidonie

Nom arabe : أعشاب بوزيدونيا

Partie utilisée : feuilles brunes récoltées des banquettes au bord de la plage.

Lieu de récolte : Plage El Belj (wilaya de Tipaza).



Famille : *Lamiaceae*

Nom latin : *Rosmarinus Officinalis L.*

Nom commun : Romarin

Nom arabe : إكليل الجبل

Partie utilisée : feuilles

Lieu de récolte : Station expérimentale d'agronomie, Université de Blida.



Famille : *Lamiaceae*

Nom latin : *Salvia officinalis*

Nom commun : Sauge

Nom arabe : المریمیة

Partie utilisée : feuilles

Lieu de récolte : SRPV de Boufarik (wilaya de Blida)



2.1.2. Les tubercules de semences

Les tubercules de semences de la variété Spunta de pomme de terre homologués et certifiés nous ont été fournis par le CNCC d'El Harrach. Les caractéristiques agronomiques du cultivar sont rapportées dans l'annexe.



Figure.7 Semences des tubercules de pomme de terre pré-germées, (photo originale).

2.1.3. Matériel fongique

Deux isolats fongiques de *Phytophthora infestans* purifiés et identifiés comme types sexuels A1 et A2 provenant respectivement de deux localités différentes de production de pomme de terre : Ain Defla et Bourkika (W. de Tipaza) ont été sélectionnés à partir d'une collection d'isolats algériens (Figure.8). Ils ont été entretenus régulièrement par repiquage sur un milieu à base de petits pois (composition voir annexe) et incubés à 18°C pendant 20 jours (Hammi, 2003).

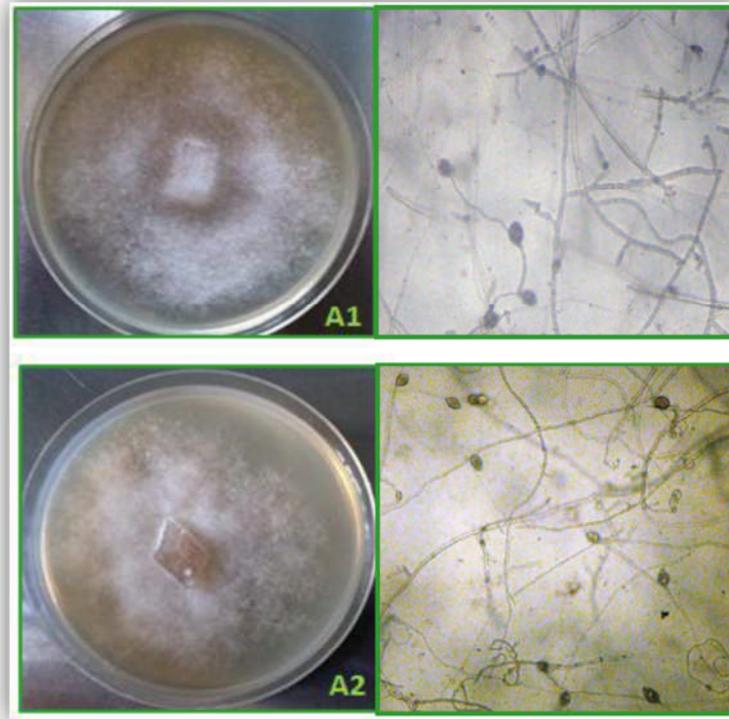


Figure.8 Aspect cultural et morphologique (G : X125) des isolats A1 et A2 de *Phytophthora infestans*.

2.2. Méthodes

L'expérimentation a duré 3 mois, Elle comporte cinq étapes essentielles :

- Echantillonnage des plantes,
- Préparation des poudres et des extraits aqueux des plantes,
- Mise en culture de la pomme de terre,
- Préparation de l'inoculum,
- Evaluation du pouvoir antifongique des préparations à base de plantes sur le développement du mildiou de la pomme de terre.

2.2.1. Echantillonnage des plantes

Les prélèvements des échantillons de plantes ont été effectués d'une façon aléatoire en juin 2012 dans différentes localités où les espèces visées étaient en abondance ; dans la wilaya de Blida à Boufarik pour : *Equisetum arvense* et *Salvia officinalis*, dans la wilaya de Blida à la station expérimentale du département d'agronomie pour *Rosmarinus officinalis*, et dans la wilaya de Tipaza au bord de la plage de caroubier pour la plante marine *Posidonia oceanica*.

La partie aérienne (tiges et feuilles) des plantes médicinales a été récoltée au stade de préfloraison, les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un sécateur pour ne pas arracher les racines. Les feuilles âgées et brunies de posidonie rejetées par la mer ont été collectées des banquettes formées au bord de la plage puis rincées plusieurs fois à l'eau courante afin d'éliminer les autres déchets associés à cette dernière.

2.2.2. Préparation des poudres et des extraits aqueux des plantes

2.2.2.1. Préparation des extraits aqueux des plantes

Comme analyse préliminaire, nous n'avons pas une idée sur le composé actif des plantes étudiées. Pour cela, nous avons retenu la macération aqueuse pour en extraire les principes actifs, qui vont être libérés et diffusés dans l'eau distillée stérile.

Les extraits aqueux ont été obtenus par décoction de (100 g) de chacune des quatre espèces sélectionnées dans (1L) d'eau distillée pendant 30 minutes. Après décantation du mélange, l'extrait est récupéré par filtration sur papier Wattman. Le filtrat obtenu a été récupéré dans des flacons hermétiquement fermés et conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'à son utilisation à l'état pur (Grainge & Ahmed, 1988 ; Krebs et al., 2006).

2.2.2.2. Préparation des poudres

Après séchage, chaque espèce végétale a été écrasée dans un mortier puis broyée en une poudre plus ou moins fine à l'aide d'un broyeur. Les poudres ont été apportées dans chaque pot à raison de 50 g avant la plantation de la pomme de terre. Ainsi 3 modes d'application de traitements ont été considérés pour chaque plante et chaque isolat.

2.2.3. Mise en culture de la pomme de terre

Cette étape a nécessité la préparation du substrat, des pots, des poudres et purins de plantes et application des traitements avant et ou après inoculation par *P. infestans* ainsi que l'installation de la culture de pomme de terre.

2.2.3.1. Préparation du substrat et des pots

Le substrat est composé de sol non utilisé prélevé d'une jachère de la station expérimentale de la SRPV de Boufarik et de la tourbe commercialisée en sacs. Ces derniers ont été soumis séparément à la stérilisation à la chaleur sèche avant leur mise en pots pour éliminer tous les risques de contaminations des plantes par les champignons phyto-pathogènes telluriques. Cette procédure consiste à mettre la tourbe dans des récipients métalliques recouverts par du papier aluminium puis, les placers dans un four Pasteur réglé à une température de 180°C pendant une durée de 30 minutes.

La stérilisation du sol a fait suite au tamisage. Elle a été réalisée au moyen d'un stérilisateur à vapeur humide réglé à 120°C sous pression de 1 bar pendant 30 mn pour éliminer toute contamination par les phyto-pathogènes.

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

Des pots de 30 cm de diamètre et 40 à 50 cm de profondeur ont été remplis de 2/3 de sol et 1/3 de tourbe stérilisés pour faire objet de notre étude (Campobello et *al.*, 2002).

Les tubercules ont été semés à raison d'un tubercule par pots.

2.2.4. Préparation de l'inoculum

Les suspensions sporangiales des isolats fongiques A1 et A2 ont été préparées à partir de cultures pures âgées de 20 jours. Leur préparation consiste à déposer sur l'isolat en culture 5ml d'H₂O stérile et racler le mycélium par une pipette pasteur modifié en râteau pour mettre en suspension la culture puis récupérer la suspension dans un tube à essai stérile soumis à l'agitation grâce à un agitateur vortex. A l'aide d'une cellule de Malassez, la concentration de

la solution a été déterminée pour chaque isolat. Ainsi, les suspensions préparées ont été ajustées avec de l'eau distillée stérile à une concentration de 10^5 sporanges/ml (Bahous et *al.*, 2008).

2.2.5. Evaluation du pouvoir antifongique des préparations à base des plantes sur le mildiou de la pomme de terre

Le pouvoir antifongique repose sur le pouvoir infectieux des isolats de *P. infestans* et qui s'exprime par l'expression des symptômes sur les plants traités comparés aux symptômes développés sur les plants témoins négatifs après réalisation de l'inoculation des plants par les isolats de *P. infestans* et application des modalités de traitements.

Ainsi, une étude symptomatologique a été réalisée et a porté sur :

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

2.2.5.1. Inoculation et modalités d'application des traitements

L'étude du pouvoir antifongique repose sur le pouvoir infectieux de *P. Infestans*.

L'inoculation des plantes par le phytopathogène a été effectuée par aspersion des plants âgés de 50 jours (avant floraison), où les modalités des traitements suivants y compris les témoins ont été prises en considération :

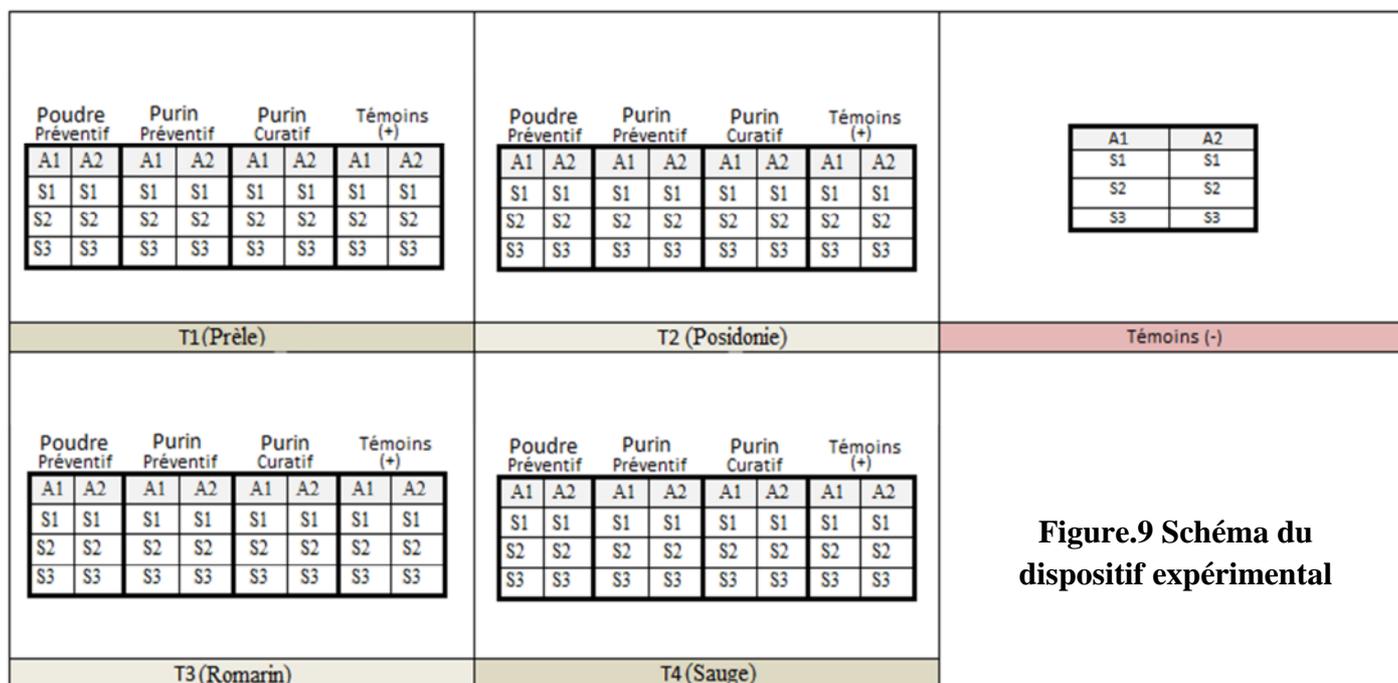
- Les plants témoins positifs ont été infectés avant floraison des plants,
- Les plants ayant subi une application préventive par incorporation de poudre au sol ont été infecté avant floraison des plants,
- Les plants ayant subi une application préventive par pulvérisation ont été infectés 48h après leur pulvérisation par les extraits aqueux purs,
- Les plants ayant subi un traitement curatif par pulvérisation ont été infectés 48h avant leur pulvérisation par les extraits aqueux purs,
- Les plants n'ayant subi aucun traitement sont considéré comme témoins négatifs.

L'inoculation consiste à 3 aspersion répétées par plant (15ml d'inoculum) et ceci pour chaque traitement et chaque souche à raison de 3 répétitions.

Les modalités d'application de traitements suivies lors de notre expérimentation sont rapportées dans le dispositif expérimental suivant, où quatre traitements, deux souches de *P.infestans* et 3 modes d'application ont été pris en considération, avec un total de 102 pots. (Figure.9).

On distingue alors :

- T1 : Plants traités par la prèle (poudre/extraits aqueux) + les témoins positifs,
- T2 : Plants traités par la posidonie (poudre/extraits aqueux) + les témoins positifs,
- T3 : Plants traités par le romarin (poudre/extraits aqueux) + les témoins positifs,
- T4 : Plants traités par la sauge (poudre/extraits aqueux) + les témoins positifs,
- S : Spunta.
- S1, S2 et S3 : Nombre de répétitions.
- Les témoins négatifs.



Le développement du mildiou de la pomme de terre a été suivi pendant 10 jours après inoculation des souches de *P.infestans*.

2.2.5.2 Lecture des résultats

L'évaluation *in vivo* du pouvoir antifongique des préparations à base de plantes vis-à-vis de *Phytophthora infestans* a porté sur la détermination des paramètres suivants:

a) Période d'apparition de symptômes

C'est le temps nécessaire pour l'apparition de l'infection par *P.infestans* sur le tissu végétal inoculé.

b) Taux de plants malades (incidence de la maladie)

Il correspond au nombre de plants infectés par *P.infestans* et qui est exprimé en pourcentages (%) pour les deux souches, les quatre traitements et les trois modes d'application.

c) Nombre de lésions développées par plant

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

d) Réduction de la maladie

La réduction de la maladie dit aussi (% RM) est traduite par le produit de l'incidence de la maladie (nombre de feuilles infectées) par l'échelle attribuée à la surface foliaire infectée. Il est déterminé par la formule proposée par Berber et *al.* (2009):

$$\text{RM (\%)} = \text{CIP} - \text{CIPE} / \text{CIP} \times 100$$

- CIP: surface foliaire infectée du témoin (%).

- CIPE: surface foliaire infectée traitée (%).

2.3. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été représentés sous forme de graphes en fonction des traitements, des modes de leur application, des souches de *P.infestans* et cela à l'aide du logiciel Microsoft Excel.

Afin de vérifier une éventuelle efficacité des préparations à base de poudres et extraits aqueux des végétaux vis-à-vis des isolats de *P.infestans* testés et comparer les différents modes de traitements utilisés, des analyses statistiques ont été effectuées au moyen du logiciel SYSTAT vers.7, en déterminant la variance à l'aide du GLM (General Linear Model), les différences ont été considérées comme significatives pour un $P \leq 0,05$. Les corrélations existantes entre les différents traitements ainsi que les isolats de *P.infestans* ont été mises en évidence par une analyse en composantes principales (ACP). L'interprétation de l'ACP a été faite à partir de l'examen du cercle de corrélation et de la position du statut des variables sur les axes factoriels (Philippeau, 1989).

L'hypothèse d'efficacité des traitements à base de poudres et purins de plantes à l'égard de *Phytophthora infestans* par rapport à la réduction de la maladie a été analysée par le modèle de la distance euclidienne à des facteurs contrôlés par le logiciel PAST (Paleoontological statistics, ver. 1.81b).

CHAPITRE III

RÉSULTATS
&
DISCUSSION

3.1. Description des symptômes

Les deux isolats de *Phytophthora infestans* ont développés des symptômes caractéristiques du mildiou sur les plants entiers de la variété de pomme de terre testée. Sur la face supérieure des feuilles, des taches décolorées d'aspect huileux se sont développées d'un diamètre allant de 2 à 61 mm qui deviennent brunes par la suite, parfois, l'apparition d'un duvet blanchâtre à la face inférieure de quelques feuilles. Les lésions foliaires ont débuté au niveau des apex puis, se sont étalées sur tout le limbe conduisant à leur brunissement et dessèchement. (Figure.10)



Figure.10 Manifestation des symptômes du mildiou de la pomme de terre sur plant entier, (photos originales).

3.2. Période d'apparition des symptômes

L'analyse de la variance de la période d'apparition des symptômes a montré une différence hautement significative entre les traitements selon le mode préventif par utilisation de poudre ($P=0.000$).

Parallèlement, une différence significative a été révélée entre les traitements selon le mode préventif par pulvérisation ($P=0.012$) et entre les traitements selon le mode curatif par pulvérisation ($P=0.015$).

Cependant une différence non significative a été déduite entre les différents modes d'application des extraits aqueux à base de plantes ($P=0.450$) (Tableau.5).

Tableau.5 Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes selon les modes d'application des traitements, les souches phytopathogènes et les traitements.

Périodes d'apparition des symptômes	Paramètres	Modes d'application	S.C.E.	d.d.l	Carrés moyens	Test F	P
	Modes d'application	Tous les modes	3.756	2	1.878	0.805	0.450
<i>Phytophthora infestans</i>	Poudre	0.833	1	0.833	0.619	0.439	
	Pulvérisation	0.300	1	0.300	0.108	0.745	
	Curatif	0.0	1	0.0	0.000	1.000	
Posidonie et plantes	Poudre	53.133	4	13.283	9.860	0.000	
	Pulvérisation	44.533	4	11.133	4.016	0.012	
	Curatif	50.133	4	12.533	3.824	0.015	

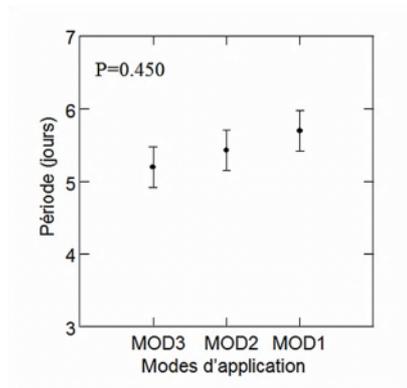
En modèle GLM, la période d'apparition de symptômes moyenne a été comprise entre 5 et 6 jours. La plus courte période a été marquée pour le mode curatif par pulvérisation alors que le mode d'incorporation de poudre dans le sol a montré la plus longue période. Ainsi, le classement des différents modes d'application a été établi dans l'ordre décroissant suivant: préventif par incorporation de poudre au sol (MOD1 : 6.3 jours), préventif par pulvérisation d'extrait aqueux (MOD2 : 6 jours), curatif par pulvérisation d'extrait aqueux (MOD3 : 5.8 jours). Par ailleurs, cette dernière a été plus courte pour les plants témoins (3.1 jours) (Figure.11).

D'autre part, une variabilité de la période d'apparition des symptômes a été relevée entre les deux souches de *Phytophthora infestans* en fonction des modes d'application des traitements et même pour les témoins (Figure.12.).

Ainsi, l'isolat A1 a reproduit les symptômes de mildiou plus rapidement que A2 en mode préventif par incorporation de poudre au sol, tandis qu'en mode préventif par pulvérisation,

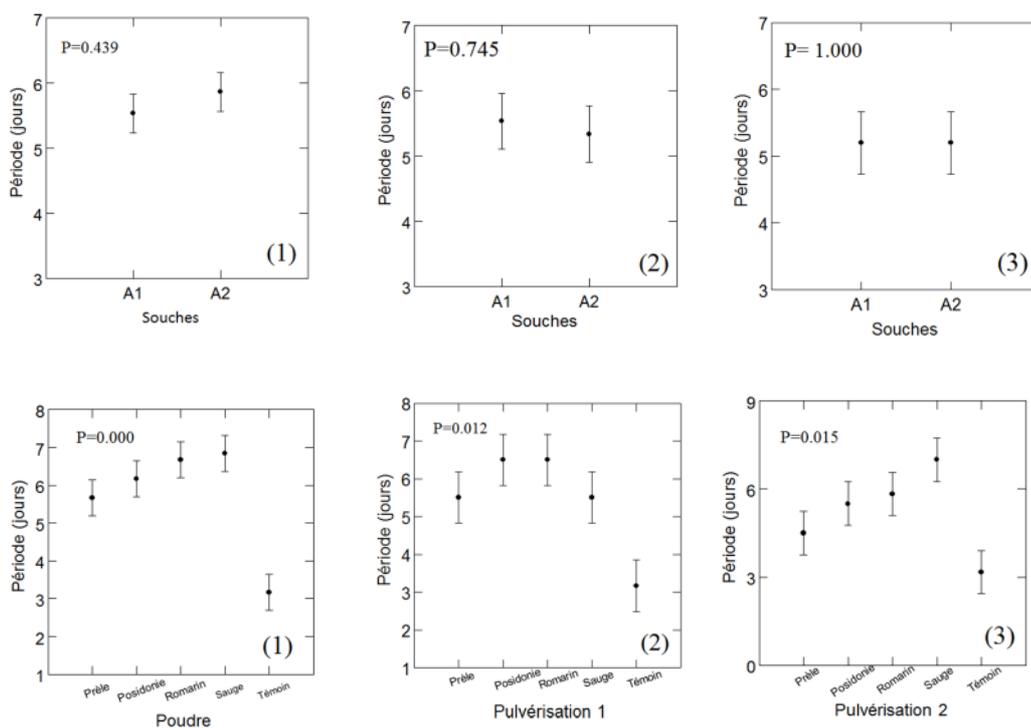
A2 s'est manifestée plus rapidement que A1. Par ailleurs, les deux isolats ont reproduit les symptômes de mildiou à la même vitesse en mode curatif par pulvérisation (Figure.12).

De même, une variabilité de la période d'apparition des symptômes a été mise en évidence en fonction des traitements effectués. Cette dernière variait entre 5 et 6 jours pour l'ensemble des traitements. La plus longue période (6.8 jours) a été enregistrée pour le mode préventif par incorporation des poudres de sauge, romarin et posidonie ; pour le mode préventif par pulvérisation avec des traitements à base d'extraits de posidonie, romarin ; et pour le mode curatif par pulvérisation en appliquant des traitements à base de sauge et romarin. Cependant, la plus courte période a été enregistrée pour le mode curatif par pulvérisation d'extraits aqueux à base de prèle (4.5 jours) (Figure.12).



MOD1 : Incorporation de poudre au sol, MOD2 : Pulvérisation préventive, MOD3 : Pulvérisation curative.

Figure.11 Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon les modes d'application des traitements



(1): Incorporation des poudres au sol, (2) : Traitement préventif par pulvérisation,

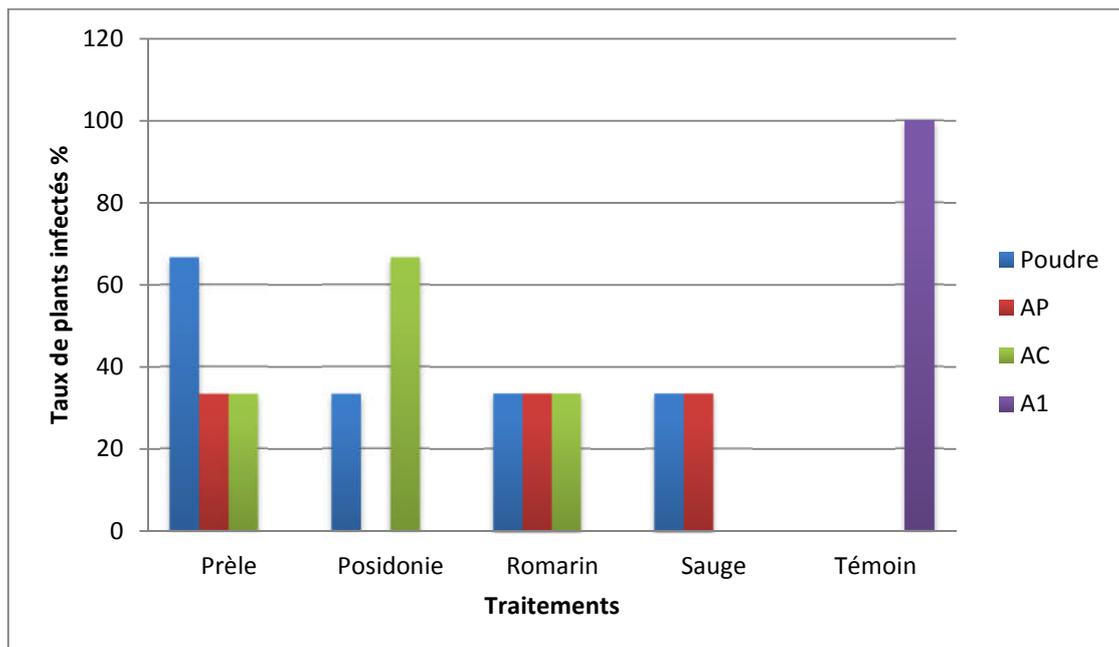
(3) : Traitement curatif par pulvérisation.

Figure. 12 Analyse de la variance des périodes d'apparition des symptômes en modèle GLM selon les modes d'application des traitements, les traitements et les souches phytopathogènes.

3.3. Incidence de la maladie

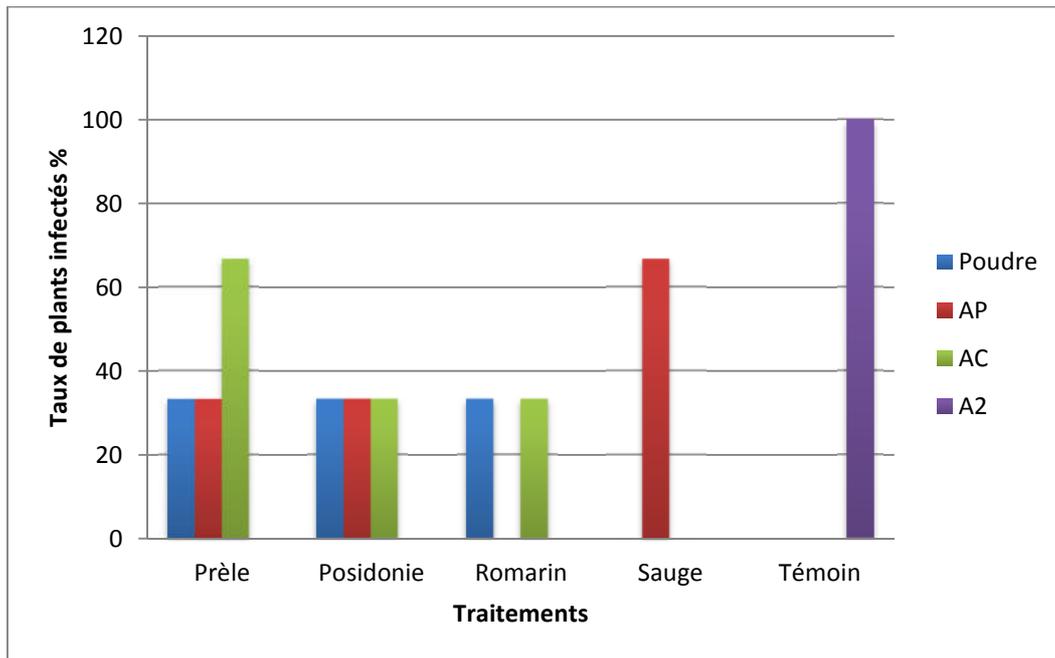
L'incidence de la maladie a été réduite pour l'ensemble des plants traités comparés aux témoins, (taux de plants malades inférieurs à 66%, et de 100% pour les plants témoins), En outre, des taux d'incidence nuls (0%) ont été observés chez :

- les plants ayant subi des traitements préventifs à base des extraits purs de la posidonie contre la souche A1 et, de romarin contre la souche A2,
- les plants ayant subi des traitements préventifs et curatifs à base d'extrait pur de sauge contre la souche A2 (Figure.14),
- les plants ayant subi un traitement curatif par l'extrait pur de sauge contre la souche A1. (Figure.13)



Poudre : Préventif par incorporation de poudre au sol, AP : Préventif par pulvérisation, AC : Curatif par pulvérisation.

Figure.13 Taux d'infection des plants par la souche A1



Poudre : Préventif par incorporation de poudre au sol, AP : Préventif par pulvérisation, AC : Curatif par pulvérisation.

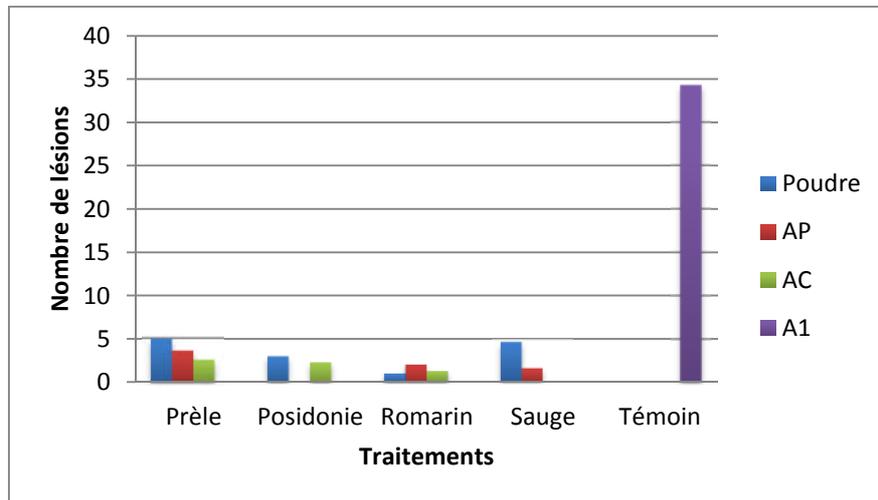
Figure.14 Taux d'infection des plants par la souche A2

3.4. Nombre de lésions développées par plant

Le nombre de lésions observé n'était pas important. Il variait selon les traitements et, leurs modes d'application ainsi que les souches de *P.infestans*. Il était compris en moyenne entre 0 et 5.6 lésions alors qu'un nombre de 34.3 lésions a été enregistré pour les témoins inoculés par la souche A1 et 37.6 lésions pour les témoins inoculés par la souche A2. Tandis que les diamètres de ces lésions étaient compris entre 2 et 30 mm contre des diamètres entre 20 et 61 mm observés chez les témoins. La réduction du nombre de lésions a été enregistrée pour :

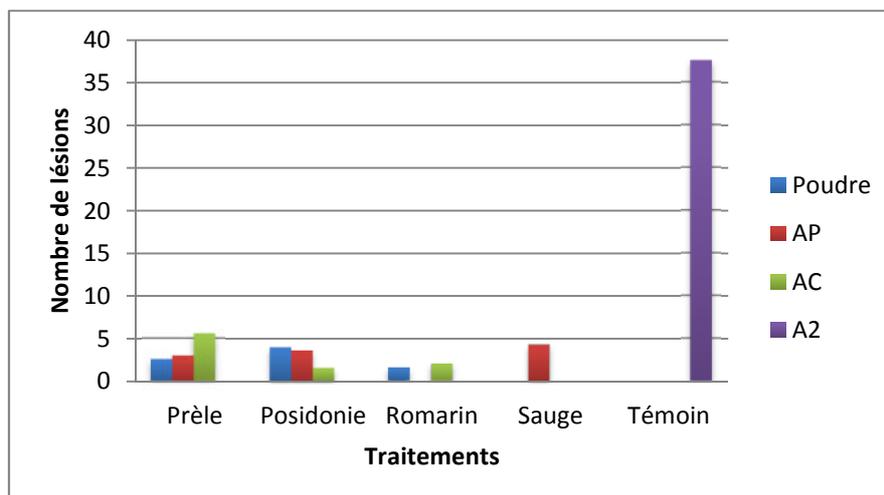
- La posidonie en traitement préventif contre la souche A1 (0 lésions),
- La saugé en traitement curatif contre les deux souches (0 lésions) pour les deux souches, et par application de traitement préventif contre la souche A2 (0 lésions),
- Le romarin en traitement préventif par incorporation de poudre au sol contre la souche A1 et par pulvérisation en mode préventif (Figure.15) contre la souche A2 (une lésion et 0 lésion respectivement) (Figure.16)

En revanche, le plus important nombre de lésions a été enregistré pour la prèle en traitement préventif contre la souche A1 (5 lésions) et en traitement curatif contre la souche A2 (5.6 lésions) (Figure.16)



Poudre : Préventif par incorporation de poudre au sol, AP : Préventif par pulvérisation, AC : Curatif par pulvérisation.

Figure.15 Nombre de lésions en fonction des traitements et modes de traitements appliqués (Souche A1).



Poudre : Préventif par incorporation de poudre au sol, AP : Préventif par pulvérisation, AC : Curatif par pulvérisation.

Figure.16 Nombre de lésions en fonction des traitements et modes de traitements appliqués (Souche A2).

3.5 Réduction de la maladie

L'analyse de la variance des taux de réduction de la maladie a montré des différences non significatives entre les modes d'application des traitements ($P=0.893$), entre les deux souches de *P.infestans* pour les modes préventifs par incorporation de poudres ($P=0.315$), par pulvérisation ($P=0.597$) et curatif ($P=0.548$) et, entre les traitements utilisés pour l'ensemble des modes d'application de traitements par incorporation de poudres au sol ($P=0.704$), préventif ($P=0.751$) et curatif ($P=0.149$) (Tableau.6).

Tableau.6 Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie selon les modes d'application des traitements, les souches phytopathogènes et les traitements.

Réduction de la maladie	Paramètres	Modes d'application	S.C.E.	d.d.l	Carrés moyens	Test F	P
	Modes d'application	Tous les modes	12.051	2	6.026	0.113	0.893
<i>Phytophthora infestans</i>	Poudre	63.883	1	63.883	1.065	0.315	
	Pulvérisation	14.918	1	14.918	0.289	0.597	
	Curatif	18.143	1	18.143	0.374	0.548	
Posidonie et plantes	Poudre	85.252	3	28.417	0.474	0.704	
	Pulvérisation	62.659	3	20.886	0.405	0.751	
	Curatif	289.614	3	96.538	1.993	0.149	

En modèle GLM, les taux de réduction de la maladie étaient semblables pour les différents modes d'application de traitements avec une efficacité légèrement marquée pour le mode préventif par pulvérisation des extraits aqueux à base de plantes médicinales (MOD1 : 95.8%), (Figure.17)

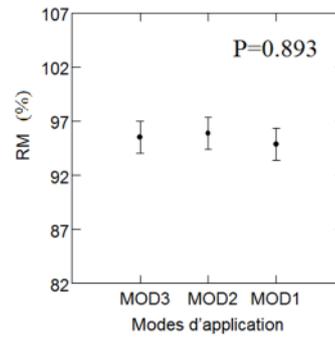
Ainsi, le classement des modes d'application des traitements a été établi selon les taux de réduction de la maladie dans l'ordre décroissant suivant (Figure.17):

- Mode préventif par pulvérisation d'extraits à base de plantes médicinales (MOD2 : 95.8%) ;
- Mode curatif par pulvérisation d'extraits à base de plantes médicinales (MOD1 :95.5%) ;
- Mode préventif par incorporation des poudres au sol (MOD3 :94.8%).

Par ailleurs, les taux de réduction de la maladie étaient importants (supérieurs à 94%) pour l'ensemble des modes d'application de traitements (Figure.18) et pour les deux souches de *P.infestans* (avoisinant 95%). Ils étaient plus importants pour A2 selon le mode d'incorporation de poudres au sol (96.5%) mais, sensiblement les mêmes pour les deux souches selon le mode préventif par pulvérisation (A1 :96.6%, A2 :95%) et le mode curatif (A1 :96.3%, A2 : 94.6%). (Figure.18)

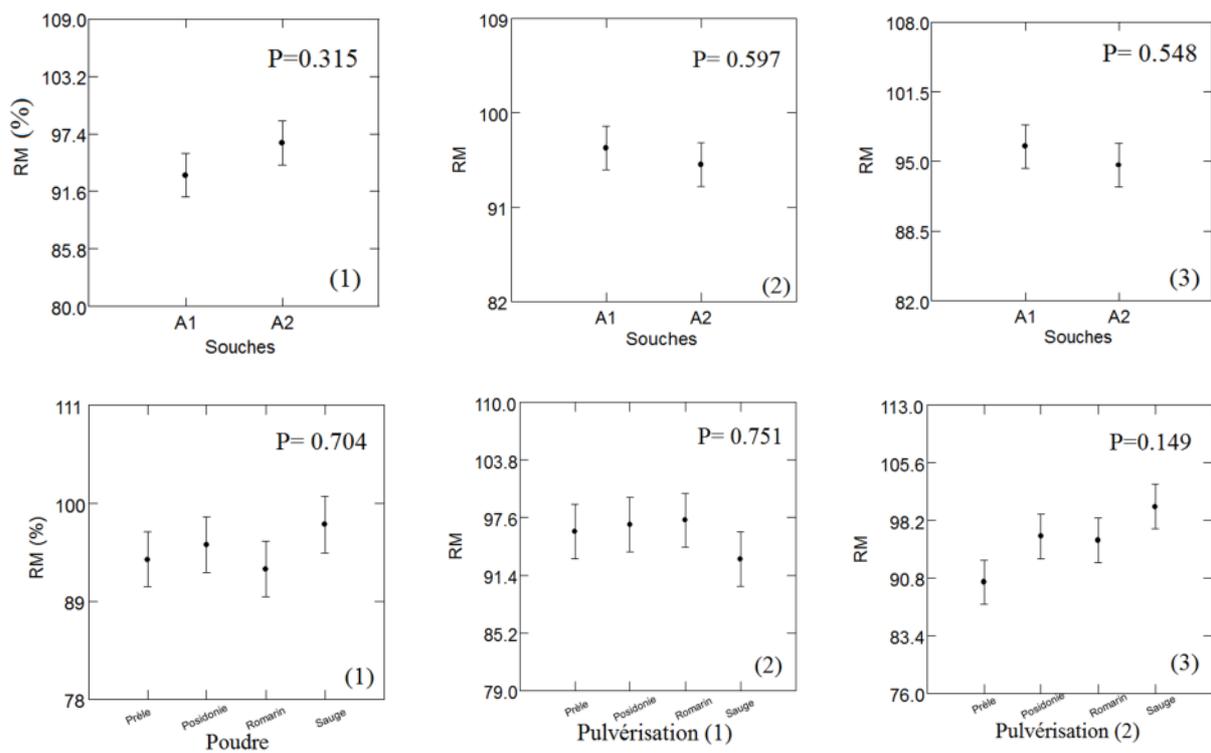
D'autre part, l'ensemble des traitements ont montré une importante réduction de la maladie (dépassant 93%) et ont donc confirmé leurs potentialités antifongiques vis-à-vis de *P.infestans*. Ainsi, le classement des traitements a été établi selon les modes d'application des traitements dans l'ordre décroissant suivant (Figure.18) :

- Selon l'incorporation des poudres de Sauge (97.67%), Posidonie (95.38%), Prèle (93.75%) et Romarin (92.67%).
- Selon le mode préventif par pulvérisation des extraits aqueux de Romarin (97.31%), Posidonie (96.84%), Prèle (96.1%) et Sauge (93.16%).
- Selon le mode curatif par pulvérisation des extraits aqueux de Sauge (98%), Posidonie (96.18%), Romarin (95.71) et Prèle (90.25%).



MOD1 : Incorporation de poudre au sol, MOD2 : Pulvérisation préventive, MOD3 : Pulvérisation curative.

Figure.17 Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements.



(1): Incorporation des poudres au sol, (2) : Traitement préventif par pulvérisation, (3) : Traitement curatif par pulvérisation.

Figure.18 Analyse de la variance des taux de réduction de la maladie en modèle GLM selon les modes d'application des traitements, les traitements et les souches phytopathogènes.

	A1	A2
Témoins		
Prêle		
Posidonie		
Romarin		
Sauge		

Figure.19 Développement des symptômes du mildiou sur les plants inoculés par *P. infestans* et traités selon le mode préventif par incorporation des poudres au sol.

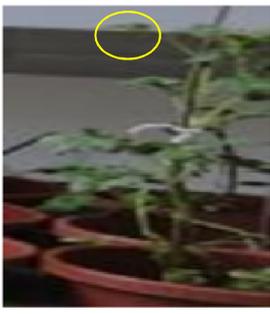
	A1	A2
Témoins		
Prêle		
Posidonie		
Romarin		
Sauge		

Figure.20 Développement des symptômes du mildiou sur les plants inoculés par *P. infestans* et traités selon le mode préventif par pulvérisation.

	A1	A2
Témoins		
Prêle		
Posidonie		
Romarin		
Sauge		

Figure.21 Développement des symptômes du mildiou sur les plants inoculés par *P. infestans* et traités selon le mode curatif par pulvérisation.

En effet, les calculs de la distance euclidienne sur la base d'une similarité de -1,5 ont présenté 4 groupes distincts (Figure.22). L'Analyse en composantes principales (Figure.22) (2) nous a permis de déduire l'efficacité des traitements selon leurs modes d'application et les souches de *P.infestans*, on distingue :

Le groupe 1 comprend les meilleurs traitements pour les deux souches de *P. infestans* avec leurs modes d'application :

- En mode curatif : les traitements à base de romarin et posidonie (ACT2 : 96.18% et ACT3 : 95.67%)
- En mode préventif par pulvérisation : les traitements à base prêle (APT1 :96.10%) et romarin (APT3 :97.31%)
- En mode préventif par incorporation au sol : les traitements à base de posidonie (PT2 : 95.83%) et de sauge (PT4 : 97.67%)

Le groupe 4 comprend les traitements efficaces pour A1 avec leurs modes d'application :

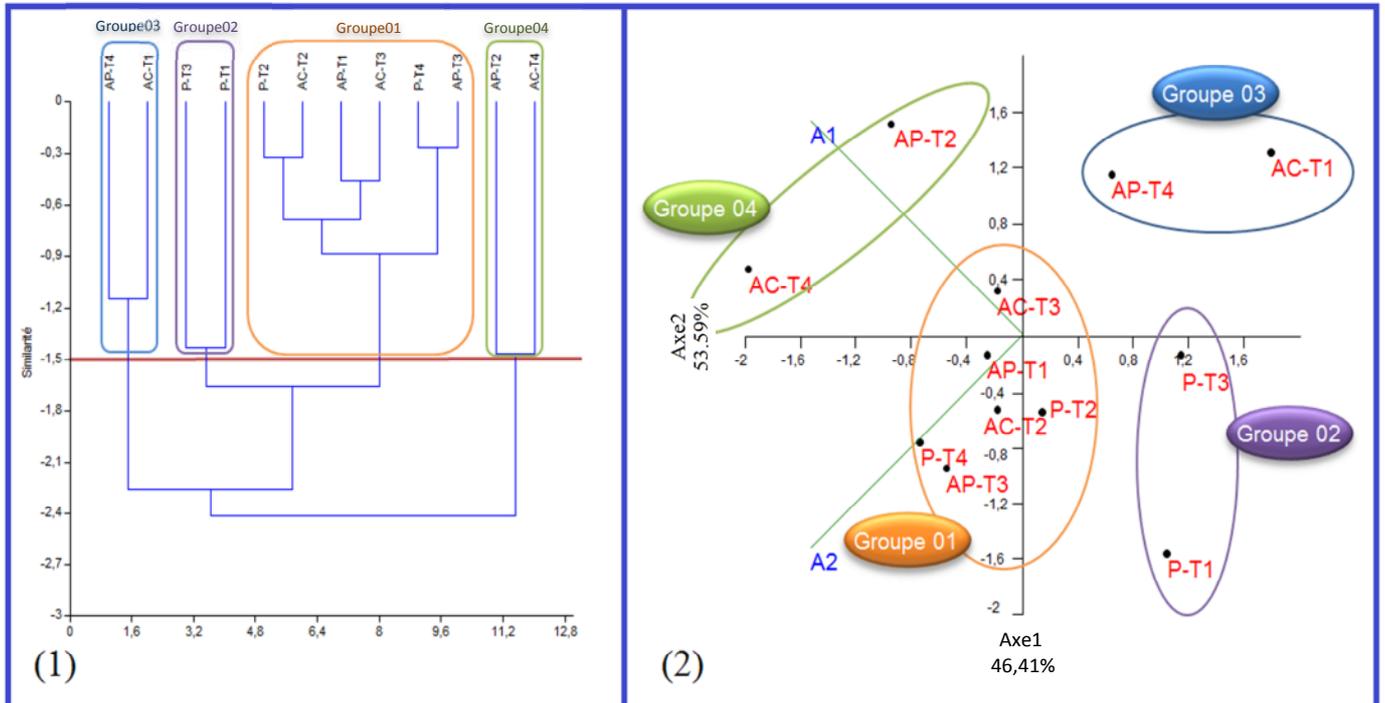
- En mode curatif : le traitement à base de sauge (ACT4 :100%)
- En mode préventif : le traitement à base de posidonie (APT2 :96.84%)

Le groupe 3 comprend les traitements peu efficaces pour les deux souches mais, plus proches de A1 que A2 avec leurs modes d'application :

- En mode curatif : le traitement à base de prêle (ACT1 : 90.25%)
- En mode préventif par pulvérisation : le traitement à base de sauge (APT4 :93.16%)

Le groupe 2 comprend les traitements peu efficaces pour les deux souches mais, plus proches de A2 que A1 avec leurs modes d'application :

- En mode préventif par incorporation au sol les traitements à base de prêle (PT1 :93.75%) et romarin (PT3 :92.67%).



T1 : Prèle, T2 : Posidonie, T3 : Romarin, T4 : Sauge.

P : Préventif par incorporation de poudre au sol, AP : Préventif par pulvérisation, AC : Curatif par pulvérisation.

Figure.22 Classification hiérarchique (1) et Analyse en composante principale ACP (2) de la réduction de la maladie en fonction des modes d'application des traitements, des traitements et des deux souches phytopathogènes.

Discussion

Le pouvoir antifongique *in vivo* des traitements à base de poudres et extraits aqueux purs des quatre espèces végétales : Prêle des champs (*Equisetum arvense*), Romarin (*Rosmarinus officinalis*), Sauge (*Salvia officinalis*) et de plante marine (*Posidonia oceanica*), a été étudié vis-à-vis de deux isolats algériens A1 et A2 de *P. infestans*, selon trois modes d'application, par incorporation des poudres de plantes au sol au moment de la plantation et une pulvérisation des plants de pomme de terre par les extraits végétaux purs avant inoculation comme mode d'application préventif et après inoculation comme mode d'application curatif.

Un important pouvoir antifongique a été relevé pour tous les traitements à base de plantes testés avec des pourcentages de réduction de la maladie compris entre 75 et 100% et des taux d'incidence ne dépassant pas les 66% et un nombre de lésions sur les folioles très réduit (≤ 5.6 lésions) comparé aux plants témoins (> 37 lésions). En effet, l'ensemble des traitements ont révélés une réduction importante de la maladie avec une efficacité importante pour les modes d'application préventifs par pulvérisation à base d'extraits aqueux de sauge et de posidonie avec une légère sensibilité de la souche A1. L'efficacité des plantes confirmée par ce présent travail pourrait être attribuée à leur composition phytochimique, ces dernières peuvent renfermer des molécules bioactives efficaces contre *P. infestans*. Cette hypothèse coïncide avec celles de plusieurs auteurs citées dans notre synthèse bibliographique.

Il est connu que les plantes ont la capacité de produire des substances naturelles très variées. En plus des métabolites primaires classiques (glucides, protéines, lipides, acides nucléiques), elles synthétisent et accumulent des métabolites secondaires dont la fonction physiologique n'est pas toujours évidente mais qui représente une source immense de molécules exploitables en agriculture dans le cadre de la phytoprotection (Auger & Thibout, 2002 ; Haddouchi & Benmansour, 2008).

Selon Burt (2004), a rapporté que l'activité biologique d'un extrait est liée à sa composition chimique, aux groupements fonctionnels de ses composés majoritaires (alcool, phénol, composés terpéniques et cétoniques), à leurs effets synergiques et leurs proportions. Ainsi, de nombreux composés avec une activité fongicide y ont été trouvés, à titre d'exemple les

Phénylpropanoïdes et les substances phénoliques (Cakir et al., 2004) les alcaloïdes et les composés azotés (Cowan, 1999), les terpénoïdes et les stéroïdes (Grande et al., 1992).

Dans ce sens, de nombreux travaux de recherche relatifs à l'activité antifongique des préparations à base de plantes sont actuellement connus et coïncident avec nos résultats.

Blaeser et al. (2002) ont évalué l'efficacité antifongique de plusieurs extraits de plantes contre *P. infestans* et ils ont signalé que les extraits de *Salvia officinalis* ont réduit le mildiou sur feuilles et ont augmenté le rendement de la pomme de terre de 17%. Ils ont interprété la réduction de la maladie par l'effet inhibiteur des extraits de cette plante sur la germination des sporanges et la mobilité des zoospores. De plus, les travaux de Yanar et al. (2011) ont démontré l'activité antifongique *in vitro* de l'extrait de *Salvia officinalis* par l'inhibition totale la croissance mycélienne de *P. infestans*.

Par ailleurs, Dellavalle et al. (2011) ont mis en évidence le pouvoir antifongique des extraits de *Salvia officinalis* et *Rosmarinus officinalis* vis-à-vis de la croissance mycélienne d'*Alternaria* sp.

Goussous et al. (2010) ont également évalué l'effet inhibiteur *in vitro* de l'extrait brut et à différentes concentrations de *Rosmarinus officinalis* à l'égard d'*Alternaria solani*. Ils ont constaté une inhibition totale de la croissance mycélienne et de la germination des spores de ce phytopathogène.

Parallèlement, les extraits de prêle ont été surtout cités pour leurs propriétés fongicides. Les travaux de Cwalina-Ambroziak et Nowak (2011), ont affirmé le biocontrôle des champignons phytopathogènes, colonisant les plants et le sol après pulvérisation et arrosage des plants de tomates avec des extraits aqueux purs d'*Equisetum arvense*. En outre, Maxim et al. (2005), ont démontré *in vitro* l'inhibition totale de la germination des conidies de *Venturia inaequalis* agent causal de la tavelure du pommier par les traitements à base d'extraits aqueux d'*Equisetum arvense*.

Récemment, des travaux algériens de Zarouri & Ben ameur (2011), sur le pouvoir antifongique *in vitro* de cinq extraits de plantes médicinales, ont montré que les extraits de *Equisetum arvense* et *Salvia officinalis* sont dotés d'une très bonne activité antifongique à l'égard de deux isolats algériens de *P. infestans* alors qu'une sensibilité modérée pour *Rosmarinus officinalis* a été décelée.

Les études de Kouki et *al.* (2002) ont souligné aussi, que l'apport des extraits de composts de *Posidonia oceanica* à différentes concentrations sur milieu de culture de *Fusarium oxysporum f. sp. radialis-lycopersici* (agent causal de la fusariose de la tomate) a engendré l'inhibition totale de la croissance mycélienne de ce phytoparasite.

Dans le même contexte, Exadaktylou et Thomidis (2010), ont évalué *in vitro* l'efficacité antifongique d'extrait de compost de *Posidonia oceanica* contre *Monilinia sp.*, *Penicillium sp.* et *Rhizopus sp.* et, ont confirmé que le traitement préventif à base de cet extrait réduit considérablement le pourcentage de pourritures des fruits en post-récolte.

Hernández-Castillo et *al.* (2010) ont également évalué l'effet antifongique *in vitro* d'extrait éthanolique des cosques de noix de pécan '*carya illinoensis*' vis-à-vis de *Rhizoctonia solani* et ils ont démontré qu'il était efficace en inhibant considérablement la croissance mycélienne du phytopathogène.

De nombreux travaux ont mis en évidence l'activité antifongique *in vitro* de plusieurs extraits de plantes sur *Phytophthora infestans* (Wang et *al.*, 2001 ; Rashid et *al.*, 2004 ; Bekepe et *al.*, 2006; Maharjan et *al.*, 2010, Yanar et *al.*, 2011).

Par ailleurs, le pouvoir antifongique *in vivo* des extraits de plantes sur *Phytophthora infestans* a été mis en valeur par de nombreux auteurs. Tongle et *al.* (2009), ont affirmé que les extraits de *Galla chinensis* manifestent une réduction importante du mildiou sur les feuilles de pomme de terre. Stephan et *al.* (2005), ont aussi mis en évidence l'effet fongicide des extraits à base de *Rheum rhabarbarum* et de *Solidago canadensis*, ces derniers en application préventive, se sont avérés efficaces pour atténuer l'infestation de *P. infestans* sur les feuilles détachées de pomme de terre.

De même, Röhner et *al.* (2003), ont rapporté que, des traitements préventifs à base d'extraits de feuilles d'*Hedera helix* et *Paeonia suffruticosa* ont supprimé quasi-totalement le développement du mildiou sur feuilles détachées de tomate. Ainsi, Majeed et *al.* (2011), ont suggéré que des pulvérisations foliaires d'extraits aqueux de feuilles de *Podophyllum hexandrum*, *Xanthium strumarium* et *Withania somnifera*, ont réduit la sévérité de la maladie et ont entraîné une augmentation du rendement en tubercules. Aussi, Khair et *al.* (2007), ont affirmé que des pulvérisations foliaires d'extraits aqueux obtenus à partir de feuilles de basilic

(*Ocinum bacilicum*), d'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), de citronnelle (*Cymbopogon citratus*), de marjolaine (*Majorana hortensis*), de menthe poivrée (*Mentha piperita*), de fruits de piment (*Capsicum frutescens*) et de bulbes d'ail (*Allium sativum*), réduisent considérablement la sévérité du mildiou sur feuilles détachées des plants de pomme de terre cultivés en pots et en plein champ.

CONCLUSION

Conclusion

Ce présent travail a visé l'évaluation du pouvoir antifongique des préparations à base de plantes sur le développement du mildiou de la pomme de terre sur plants de la variété Spunta, cultivés en pots et sous serre, selon les souches A1 et A2 de *P.infestans* et les modes d'application de traitements préventifs, par pulvérisation avec les extraits aqueux purs et par incorporation des poudres végétales au sol avant plantation, et le mode de traitement curatif par pulvérisation d'extraits aqueux purs après inoculation. Ainsi, notre étude a porté sur la détermination de la période d'apparition des symptômes et la réduction de la maladie.

En effet, une variabilité a été mise en évidence entre les souches de *Phytophthora infestans* et les modes d'application de traitements. Contrairement aux témoins positifs et au mode préventif par incorporation des poudres, l'isolat A2 a reproduit les symptômes de mildiou plus rapidement que l'isolat A1 selon le mode préventif par pulvérisation.

De même, une variabilité de la période d'apparition des symptômes a été mise en évidence en fonction des traitements effectués. La plus longue période (6 jours) a été enregistrée pour le mode préventif par incorporation au sol des poudres de sauge et du romarin. Cependant, la plus courte période a été enregistrée pour les modes curatif et préventif par pulvérisation d'extraits aqueux purs de prêle (2 jours).

Par ailleurs, La phytopathogénéicité des deux isolats de *P. infestans* a été fortement réduite par les traitements à base de plantes (taux de réduction supérieurs à 75%) selon les différents modes d'application (taux de réduction avoisinant ou dépassant 93%).

Les résultats issus de cette étude ont confirmé les potentialités biofongicides des plantes testées en vue de leur utilisation comme moyens de lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre. Dans ce sens, plusieurs portes s'ouvrent à la recherche :

- Etude du profil phytochimique de la sauge, du romarin et de la posidonie,
- Modalités d'action et mécanismes de résistance induites par les traitements à base de plantes,
- Formulation des plantes efficaces pour les tester en plein champ,
- Toxicologie et rémanence des traitements à base de plantes testées,
- Pouvoir antifongique des plantes sur d'autres agents phytopathogènes redoutables.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **Ahmed-Serir B. et 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, 47.
2. **Amrar S. 2005.** Age physiologique et influence des conditions de stockage sous froid longue durée dans le développement de la culture de pomme de terre d'arrière-saison et de primeur. Macir revue 2, Algérie, 11-14 p.
3. **Andrison D. 1995.** Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil, *Phytopathology* 85, 1053-1056 p.
4. **Andrison D., Corbière R., Lucas L. M., Pasco C., Gravouelle J. M., Pelle R., Dantec J. P. et Ellissèche D. 2003.** Resistance to late blight and soft rot in six potato progenies and glycoalkaloid contents in the tubers. *American Journal of Potato Research.* 80, 125-134 p.
5. **Anonyme 2006.** Protection phytosanitaire en culture de pomme de terre biologique, Fiche 1 : Lutte contre les champignons et les bactéries pathogènes.
6. **Anonyme 2008.** Maladies, ravageurs et désordres de la pomme de terre. Guide d'identification et fiches descriptives, Co-edition: Fnpppt, Gnis et Arvalis, 192.
7. **Anonyme 2009.** Journal Officiel N° 07 du 28 Janvier 2009, fixant la liste provisoire des espèces et variétés de céréales, de pomme de terre et des espèces arboricoles et viticoles autorisées à la production et à la commercialisation, 17-20 pp.
8. **Anonyme 2012.** Salon international de la pomme de terre Mostabatatis spécial quatrième édition : 4-6.
9. **Aruoma O.I., Halliwell B., Aeschbach R., Löliger J. 1992.** Antioxidant and prooxidant properties of active rosemary constituents: carnosol and carnosic acid, *Xenobio-tica*, 22, (2), 257-268.
10. **Auger J., et Thibout E. 2002.** Substances soufrées des Allium et des Crucifères et leurs potentialités phytosanitaires, In Regnault-Roger, C, Philogène, B J.R, Vincent C. *Biopesticides d'origine végétale*, Tec & Doc, Paris, 77-96.
11. **Avila-Adame C., Gomez-Alpizar L., Zismann V., Jones K. M., Buell C. R. et Ristaino P. 2006.** Mitochondrial genome sequences and molecular evolution of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Curr. Genet*, 49, 39-46 pp.

12. **Bahous M., Ouazzani-Touhami A. et Douira A. 2008.** Survie de quelques pathogènes fongiques sur les feuilles de riz conservées au laboratoire, Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n°30: 13-18.
13. **Bamouh A. 2003.** Fiche technique, l'abricotier, le prunier, le poirier et le pommier. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, Transfert de technologie en agriculture, n° 107 Arboriculture., Ministère de l'agriculture et de développement rural, Maroc : 4.
14. **Bankonyi J. et Ersek T. 1997.** First report of the A2 mating type of *Phytophthora infestans* on potato in Hungary, Plant Disease, 81: 1094 p.
15. **Barat J., Paran G. et Bernabé C. 2012.** La pomme de terre, bilan de campagne 2010-2011, FranceAgriMer: 8.
16. **Basaga H., Tekkaya C., Acitel F. 1997.** Antioxydative and free radical scavenging properties of rosemary extract, Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie, 30 (1),105–108.
17. **Bekepe K., Sommartya T., Rakvidhyasastra V., Singburaudom N., Sukprasert P. and Berga L. 2006.** Crude Garlic Extract Effect on the Growth of Mycelia, Germination of Zoospores and Sporangia and Time of Application on the Infection of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary of Potato undercontrolled Conditions in Ethiopi. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 40, 729 – 737.
18. **Berber F., Ouazzani-Touhami M., Badoc, A, Douira A. 2009.** Antagonisme *in vivo* de deux *Trichoderma* à l'égard de quatre espèces de *Bipolaris* pathogènes sur le sorgho, Bull. Soc. Pharm, Bordeaux, 148, 93-114.
19. **Blaeser P, Steiner U, Dehne H.W. 2002.** Pflanzeninhaltsstoffe mit fungizider Wirkung. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL 97.
20. **Bock B. 2012.** Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France, BDNFF v4.02.
21. **Bouchet P., Guignard J. L., Pouchus Y. F. et Villard J., 2000.** Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée, Abrégés, Biochimie végétale, 2^{ème} édition Masson, 274 p.
22. **Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent, G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2006.** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. (www.ramoge.org).
23. **Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010.** Ecophyto R&D, Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'étude, INRA Editeur (France), 90.

24. **Cakir A., Kordali S., Zengin H., Hirata T. 2004.** Composition and antifungal activity of essential oils isolated from *Hypericum hyssopifolium* and *Hypericum heterophyllum*. *Flav. Fragr. J.*, 19, 62-68p.
25. **Campobello E.W.A.; Drenth H.H. et Leifrink R.S. 2002.** Culture professionnelle de pomme de terre. Plantation 2eme Edition, NIVVA, 22.
26. **Carrier A. et Senécal M., 2008.** Bulletin d'information cultures en serres: un nouveau fongicide.
27. **Castillo G., Sottiaux L., Hainaut A., Dengis B. et Waller A. 2010.** De la Plante au Médicament, Initiation aux plantes médicinales, Espaces Botaniques Universitaires de Liège.
28. **Centeno S., Calvo MA., Adelantado C., Figueroa S. 2010.** Antifungal activity of extracts of *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris* against *Aspergillus flavus* and *A. ochraceus*.
29. **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 p.
30. **Christine D. S., Roberts W. S. et Fry W. E. 2000.** Molecular techniques and the mystery of the potato late blight, in *Potato Late Blight Pathogen*, 21- 42 p.
31. **Clarys L., 2005.** La pomme de terre de contre saison dans le Sud Est Malgache, Inter aide, Programme Agricole MANAKARA, 3p.
32. **CNCC., 2010.** Bulletin des variétés de pomme de terre, Editée par le CNCC, 253 p.
33. **Cowan M.M. 1999.** Plant products as antimicrobial agents, *Clinical Microbiology Reviews.* 12, 564-582 p.
34. **Cwalina-Ambroziak B. and Nowak M.K. 2011.** Fungi colonizing the soil and roots of tomato (*Lycopersicon esculentum mill.*) plants treated with biological control agents, vol. 64 (3), 87–92 p.
35. **Daayf F. et Platt W. H. 1999.** Assessment of mating types and resistance to métalaxyl of Canadian populations of *Phytophthora infestans* in 1997, *American Journal of Potato Research* 76,287-295 pp.
36. **Del Campo J., Amiot M.J., Nguyen C. 2000.** Antimicrobial effect of rosemary extracts, *Journal of Food Protection*, 63, (10), 1359–1368 p.
37. **Dellavalle P.D., Cabrera A., Alem D., Larrañaga P., Ferreira F. and Rizza M.D. 2011.** Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria spp.* *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71, 231-239 p.
38. **Djenane D., Sánchez-Escalante A., Bel-trán J.A., Roncalés P. 2002.** Ability of α -tocopherol, taurine and rosemary, in combination with vitamin C, to increase the oxidative

stability of beef steaks packaged in modified atmosphere, Food Chemistry, 76, (4), 407–415 p.

39. **Domingo M. 2006.** Pictorial Cyclopedia of Philippine Ornamental Plants. Philippine publications on medicinal plants.
40. **Dorrance A. E., Inglis A. A., Brown C. R., Goodwin S. B. et Fry W. E. 1999.** Characterization of *Phytophthora infestans* population in western Washington. Plant Disease 83, 423-428 p.
41. **Drenth A., Janssen E.M. et Govers F. 1995.** Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions, Plant Pathology, 44, 86-94 p.
42. **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, 1003-1009 p.
43. **Ducreux G., Rossignol L. et Rossignol M. 1986.** La pomme de terre, La recherche 174, Paris, 193-203 p.
44. **Duvanchelle S. et Andrivon D. 1996.** Maladies à distribution géographique mondiale : le mildiou et son agent *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. in la pomme de terre. Rousselle, P., Robert, Y. & Groissier, J.C. ed. INRA et ITCF, France, 607.
45. **Erwin D. C. et Ribeiro O. K. 1996.** *Phytophthora* diseases worldwide, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minisota, 561 p.
46. **Ewing E. E., Simko I., Smart C. D., Bonierbale M. W., Mizubuti E. S. G., May G. D. et Fry W. E. 2000.** Genetic mapping of qualitative and quantitative field resistance to *Phytophthora infestans* in a population derived from *Solanum tuberosum* and *Solanum berthaultii*. Molecular Breeding 6, 25-36 p.
47. **Exadaktylou E. and Thomidis T. 2010.** Effect of boron on the development of Brown rot (*Monilinia laxa*) on peaches. Crop Protection DOI, 10.
48. **FAO 2008.** FAOSTAT, produit par pays <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
49. **Fernández-Pavia S. P., Grünwald N. J., Diaz-Valasis M., Cadena-Hinojosa et Fry W. E., 2004.** Soilborn oospores of *Phytophthora infestans* in central Mexico survive winter fallow and infect potato plants in the field. Plant Disease 88, 29-33 p.
50. **Frinking H.D., Davidse L.C. et Limburg H. 1987.** Oospore formation by *Phytophthora infestans* in host tissue after inoculation with isolates of opposite mating type found in the Netherlands, Phytopathology 81, 1330-1336 p.
51. **Fry W. E., Goodwin S. D., Matuszak J. M., Spielman L. J., Milgroom M. G. et Drenth A. 1992.** Population genetics and intercontinental migration of *Phytophthora infestans*, Annual Review of phytopathology 30, 107-129 p.

52. **Gallegly M. E. et Galindo, J. 1958.** Mating type and oospores of *Phytophthora infestans* in nature in Mexico, *Phytopathology* 48, 274-277 p.
53. **Gallegly M. E. et Hong, C. 2008.** *Phytophthora*: Identifying species by morphology and DNA Fingerprints, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota USA, 157 p.
54. **Gaucher D., Duvauchelle S. et Andrivon D. 1998.** Mildiou de la pomme de terre — le champignon évolue, la lutte aussi I Perspectives Agricoles 236: 1-20 pp.
55. **Georgantelis D., Ambrosiadis I., Katikou P., Blekas G., Georgakis S. A. 2007.** Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters.
56. **Gisi U. et Cohen Y. 1996.** Resistance to phenylamide fungicides: a case study with *Phytophthora infestans* involving mating type and race structure, *Annual Review of Phytopathology*. 34, 549-572 p.
57. **Goussous S.J., Abu-El-Samen F.M., Tahhan R.A. 2010.** *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. Jordan, 43, 1745-1757 p.
58. **Grainage M., Ahmed S. 1988.** Handbook of plant with pest control properties, Wiley, New York 2ed Edition, 470.
59. **Grande M., Torres P., Piera E. and Bellido I.S. 1992.** Triterpenoids from *Dittrichia viscosa*. *Phytochemistry* 31(5), 1826-1828 p.
60. **Grünwald N. J. et Plier W. G. 2005.** The biology of *Phytophthora infestans* at its center of origin, *Annual Review of Phytopathology*, 43, 171-190 pp.
61. **Grünwald N. J., Rubio-Covarrubios O. A. et Fry W. E. 2000.** Potato late blight management in the Toluca Valley: forecasts and resistant cultivars, *Plant Diseases*, 84, 410-416 p.
62. **Haddouchi F., et Benmansour A. 2008.** Huiles essentielles, utilisations et activités biologiques, Application à deux plantes aromatiques, Article de synthèse, Université de Tlemcen, les techniques de laboratoire N°8, 8.
63. **Hafidi M., Achbani E. H., Lamaraah N., El Bouami F., Andrivon D. et Corbière R. 2002.** Geographic differentiation of populations of *Phytophthora infestans* in Morocco, *Al Awamia* 104, 96 p.
64. **Haine D. et Verlainne A., 2006.** AsblPameseb : Un réseau de stations météorologiques automatiques télémétrées, Direction Générale de l'Agriculture de la région Wallonne, 42 p.
65. **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.

66. **Hammi A. 2003.** Caractérisation de populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary dans la région de Saïs, Thèse de doctorat en phytopathologie, Université Sidi Mohamed Ibn Abdollah, Fes, Maroc, 272.
67. **Hampton M. C. 1992.** Some thoughts on demography of the great potato famine, *Plant Diseases*. 76, 1284-1286 p.
68. **Harmel N., Francis F., Haubruge E., et Giordanengoz P., 2008.** Physiologie des interactions entre pomme de terre et pucerons : vers une nouvelle stratégie de lutte basée sur les systèmes de défense de la plante, *Cahiers Agricultures* vol. 17, n° 4.
69. **Hausladen H. and München TU., 2006.** *Phytophthora infestans* pathogen of global importance, BayerCropscience, Center of Life and Food Sciences, Germany, 15.
70. **Hawkes J. G. 1990.** The potato, evolution, biodiversity and genetic resources, Belhaven Press, London, 259 p.
71. **Helgeson J.P., Pohiman J.D, Austin S., Haberlach G.T., Wielgus S.M., Ronis D., Zambolim L., Tooley P., McGrath J.M., James R.V. and Stevenson W.R. 1998.** Somatic hybrids between *Solanum bulbocastanum* and potato: a new source of resistance to late blight. *Theoretical and Applied Genetics* 96, 738-742 p.
72. **Hermansen A., Hannukkala A., Naerstad R.H. et Brurberg M.B. 2000.** Variation in populations of *Phytophthora infestans* in Finland and Norway: mating type, metalaxyl resistance and virulence phenotype, *Plant Pathology* 49: 11-22 pp.
73. **Hernández-Castillo F.D., Castillo-R.F., Gallegos-M.G., Rodríguez H.R. et Aguilar-G.C.N. 2010.** *Lippia graveolens* and *Carya illinoensis* Organic Extracts and there in vitro effect Against *Rhizoctonia solani* Kuhn, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5 (3), 380-384 p.
74. **Hohl, H. R. et Iselin, K. 1984.** Strains of *Phytophthora infestans* from Switzerland and with A2 mating type behavior, *Transactions of the British Mycological Society* 83, 529-531 p.
75. **INPV 1984.** La lutte contre le mildiou et l'alternariose dans la culture de la pomme de terre, INPV El Harrach, 06 p.
76. **INVA 2007.** La culture de la pomme de terre, *Agriculture et développement* n°08, *Revue de vulgarisation et de communication* éditée par l'INVA, 49-60 p.
77. **Isaac S., 1992.** *Fungal-Plant Interaction*. Published by Chapman and Hall, 2-6 Boundary Row. London: 441.
78. **Jaoua S., Ghribi D. et Zouari N. 2005.** Improvement of bio insecticides production through Adaptation of *Bacillus thuringiensis* to heat treatment and NaCl addition.
79. **Jensen J.L. 1887.** Moyens de combattre et de détruire le *Peronospora* de la pomme de terre. *Mém. Soc. Nat. Agric. France*, T. 131. 130 p.

80. **Jmour W. et Hamada, W. 2006.** First report of A2 mating type of *Phytophthora infestans* in Tunisia using molecular markers and some observation on its metalaxyl resistance, Tunisian Journal of Plant protection 1, 85-91 p.
81. **Jolivet E. 1969.** Physiologie de la tubérisation, Annal de physiologie végétale 11, 198-199 p
82. **Judelson H. S., Spielman L. J. et Shattock R. C. 1995.** Genetic mapping and nonmendelian segregation of mating type loci in the Oomycete, *Phytophthora infestans*, Genetics 141, 503-512.
83. **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 p.
84. **Kessel G. J. T. et Förch M. G. 2006.** Effect of UV-esposure on germination of sporangia of *P. infestans*. Plant Research Internatinal B.V. Wageningen, Note 395, 12 p.
85. **Khair A.H and Haggag W.M. 2007.** Application of Some Egyptian Medicinal Plant Extracts Against Potato Late and Early Blights, Res. J. Agric. Biol. Sci. 3, 166-175 p.
86. **Kirk P. M. Cannon, P. F. Winter D. W. et Stalpers J. A. 2008.** Dictionary of the Fungi, CAB International Wallingford, UK. 10 th ed., 750 p.
87. **Knepper G. et Preston S., 2004.** Solutions biologiques de lutte contre le mildiou de la pomme de terre.
88. **Knepper G. et Sullivan P. 2001.** Organic Alternatives for Late Blight Control in Potatoes, Note sur les techniques de maîtrise de ravageurs de programme de transfert technologique vers les régions rurales, Paris, 83.
89. **Kouki S., Saidi N., Ben Rejeb A., Brahmi M., Bellila A., Khiari L., Fumio M., Hassen A., Jedidi N., Downer J. and Ouzari H. 2002.** Control of *Fusarium* wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. *Sp. radicis-lycopersici* using mixture of vegetable and *Posidonia oceanica* compost.
90. **Krebs H., Dorn B. et Forrer H.R. 2006.** Lutte contre le mildiou de la pomme de terre avec des préparations à base de plantes. Revue Suisse Agric. 38 (4), 203-207 p.
91. **Kroon L. P. N. M., Bakker F. T., Van den Bosch G. B. M., Bonants P. J. M. et Flier W.G. 2004.** Phylogenetic analysis of *Phytophthora* species based on rnitochondrial and nuclear DNA sequences, Fungal Genetics and Biology 41, 766-782 p.
92. **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.

93. **Laing C. 1998.** Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information de la division de la gestion des demandes d'homologation et de l'information. Agence Réglementaire de la parasitaire. Canada.
94. **Latten J. 1994.** Biologische Bekämpfung phytopathogener Pilze mit Hilfe von Pflanzenextrakten, Justus Liebig University, PhD thesis: 121.
95. **Lebreton L., Laurent C. et Andrivon D. 1998.** Evolution of *Phytophthora infestans* populations in the two most important potato production areas of France during 1992-96. *Plant Pathology* 47, 427-439 pp.
96. **Lepoivre P. 2003.** Phytopathologie, Bases moléculaires et biologiques des pathosystèmes et fondements des stratégies de luttés. De Boeck, Les presses agronomiques de Gembloux, Bruxelles, 427 p.
97. **Madec P. 1966.** Croissance et tubérisation chez la pomme de terre, *Bulletin de la Société Française de Physiologie Végétale* 12, 159-173 p.
98. **MADR 2011.** Services de statistiques des cultures, ministère d'agriculture et de développement rural.
99. **Maharjan B.L, Shrestha K. and Basnyat, S. 2010.** Botanical Control of Late Blight of Potato , *Nepal Journal of Science and Technology* 11, 37-40 p.
100. **Majeed A., Ahmad H., Chaudhry Z., Jan G., Alam J. and Muhammad Z. 2011.** Assessment of leaf extracts of three medicinal plants against late blight of potato in Kaghan valley, Pakistan. *Journal of Agricultural Technology*, Vol. 7(4), 1155-1161 p.
101. **Martin J. F. 2004.** Culture de la pomme de terre de conservation, Arvalis, Institut du végétal ,4-11 p.
102. **Maxim A., Zagrai I., Zagrai, Fițiu A., Șandor M. 2005.** Sequences in biological pest control of phytopatogenic agents for apple trees.
103. **Mehmet M.Ö and Chalchat J-C. 2008.** Chemical composition and antifungal activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*) oil from Turkey, Vol. 59, No. 7-8, 691-698 p.
104. **Messiaen C. M., 1981.** Les variétés résistantes, méthode de lutte contre les ennemis des plantes, I.N.R.A, Paris, 131-137 p.
105. **Mona A.M. and Hussein B.A. 2008.** Cytotoxicity and antimicrobial activity of *Salvia officinalis L.* flowers, *Sudan JMS* Vol. 3, No.2.
106. **Montarry J., 2007.** Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte *Solanum tuberosum*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, France, 177 p.
107. **Mulder A. et Turkensteen L. J. (Eds.) 2005.** Potato diseases, Diseases, pests and defects, NIVAP, 280 p.

108. **Mundt C.C., Cower C. et Garrett K.A. 2002.** Relevance of integrated disease management to resistance durability, *Euphytica* 124, 245-252 p.
109. **Neuhoff D, Klinkenberg HJ, Köpke U. 2002.** New approaches in late blight (*Phytophthora infestans*) control in organic farming, In 2ème Conférence internationale sur les moyens alternatifs de lutte contre les organismes nuisibles aux végétaux, Lille, 4-7 Mars 2002, Proceedings, 197-204 p.
110. **Ngamo L.S.T. et Hance T.H. 2007.** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical, *Tropiculteur* 25 (4), 46.
111. **Niederhauser J.S. 1991.** *Phytophthora infestans*: the Mexican connection. In: *Phytophthora* (J.A. Lucas, R.C. Shattock, D.S. Shaw & L.R. Cooke eds.), 25-45 p. Cambridge University Press, Cambridge.
112. **Niklaus J. G. et Wilbert G. F. 2005.** The Biology of *Phytophthora infestans* at its centre of origin. *Annual Review of phytopathology* 43 : 171-190 pp.
113. **Noyd R.K. 2000.** Carte de références mycologie, St. Paul, Minnesota, APS Press.
114. **O'Sullivan E. et Dowley L. J. 1991.** A note on the occurrence of the A2 mating type and self-fertile isolates of *Phytophthora infestans* in the Republic of Ireland. *Irish Journal of Agricultural Research* 30: 67-69 pp.
115. **Peeten H.G., Shipper E., Baarveld H.R., 2007.** Catalogue néerlandais des variétés de la pomme de terre. 164, 1-164 p.
116. **Philipeau G. 1989.** Comment interpréter les résultats d'analyse en composantes principales (ACP), Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), Paris.
117. **Polèse J.M. 2002.** La culture de la tomate, ED Artémis, 95.
118. **Radtke W. et Rieckmann W. 1991.** Maladies et Ravageurs de la Pomme de Terre, Th. Mann, Gelsenkirchen-Bue, Canada, 120 p.
119. **Radulović N, Stojanović G, Palić, R. 2008.** Composition and antimicrobial activity of *Equisetum arvense* L. essential oil. Jean-Claude Rameau et al., Flore forestière française: Région méditerranéenne.
120. **Rakotonindraina T. 2008.** Analyse de l'adaptabilité de SIPPOM, modèle de gestion durable des résistances variétales, au mildiou de la pomme de terre, Master 2 ASCI, SupAgro Montpellier.
121. **Rameau J-C. 2008.** Flore forestière française: Région méditerranéenne.
122. **Rashid A., Ahmad I., Iram S., Mirza J.I. and Rauf C.A. 2004.** Efficiency Of Different Neem (*Azadirachta indica* A.Juss) Products Against Various Life Stages Of *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary. *Pak. J. Bot.* 36(4), 881-886 p.

123. **Rauscher G. M., Smart C. D., Simko I., Bonierbale M., Mayton A., Greenland A. et Fry W. E. 2006.** Characterization and mapping of R pi-ber a novel potato late blight resistance gene from *Solanum berthoultii*. Theor. Appl. Genet. 112, 674-687 p.
124. **Reckhaus P. 1997.** Maladies et ravageurs des cultures maraîchères à l'exemple de Madagascar. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Allemagne, 372 p.
125. **Regnault R. 2008.** Saugé officinale, J. Serb. Chem. Soc. 615, 28–188 p.
126. **Robuchon J. 1994.** Le meilleur et le plus simple de la pomme de terre. Ed. Robert Laffont, 250 p.
127. **Röhner E., Carabet A. and Buchenauer H. 2003.** Effectiveness of plant extracts of *Paeoniasuffruticosa* and *Hederahelix* against diseases caused by *Phytophthora infestans* in tomato and *Pseudoperonospor acubensis* in cucumber, Journal of Plant Diseases and Protection 111 (1), 83–95 p.
128. **Rousselle P., Robert Y., et Grosnier J. C. 1996.** La pomme de terre production, amélioration, ennemis, maladie et utilisation, I.N.R.A. Paris, 607 p.
129. **Rullich G. et Schiber B. 1988.** Auftreten und verbeitung des A2 paarungstyps von *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in der Bunderrepublik Deutschland, Der Kartoffelbau 39, 244-246 p.
130. **Sattar A. A., Bankova V., Kujungiev A., Galabov A., Ignatova A., Todorova C. 1995.** Chemical composition and biological activity of leaf exudates from some *Lamiaceae* plants. Pharmazie, 50, 62-65 p.
131. **Schepers H. 2007.** Late blight in potatoes, Applied Plant Research, Wageningen, 19 p.
132. **Schlenzig A. et Habermeyer A. 1998.** Is information on latent infection and sporangial movement of *Phytophthora infestans* in potato corp useful in support of forecasting systems? Proceeding of the Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PAV- Special Report N° 3, 40-48 p.
133. **Sediqui M., Carroll R. B. and Morehart A. L. 1997.** First report from Morocco of *Phytophthora infestans* isolates with metalaxyl resistance. Plant Disease. 81, 831 p.
134. **Shaw D. S. 1991.** Genetics of *Phytophthora infestans*, Advances in Plant Pathology 7, 131-167 p.
135. **Sliwka J., Jakuczun H., Lebeeka R., Marczewski W., Gebhardt C. et Zimnoch-Guzowska E. 2006.** The novel major locus Rpi-phul for late blight resistance maps to potato chomosome IX and is not correlated with long vegetation period, Theoretical and Applied Genetics 113, 685-695 p.

136. **Smoot J. J., Gough F. J., Lamey H. A., Eichenmuller J. J. et Gallegly M. E. 1958.** Production and germination of oospores of *Phytophthora infestans*, *Phytopathology* 48, 165-171 p.
137. **Soltner D. 2005.** Les grandes productions végétales, 20ème édition, Collections Sciences et Techniques agricoles, 472 p.
138. **Song J., Bradeen J. M., Naess S. K., Raasch J. A., Wielgus S. M., Haberlach G. T., Liu J., Kuang H., Austin-Phillips S., Buell C. R., Helgeson J. P. et Jiang J. 2003.** Gene RB cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight, *Proceeding of the National Academy Sciences, USA*, 100, 9128-9133 p.
139. **Spire D. et Rousselle P. 1996.** La plante : Origine socio-économique, In: *La Pomme de Terre* (P. Rousselle Y. Robert & J.C. Crosnier eds.) p. 25-47, INRA Editions, Paris.
140. **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.
141. **Stammati A., Bonsi P., Zucco F., Moezelaar R., Alakomi H-L., Wright A. 1999.** Toxicity of Selected Plant Volatiles in Microbial and Mammalian Short-term Assay, *Food and Chem. Tox.* 37, 813-823.
142. **Starostins G., 1977.** La pomme de terre. Cultures maraîchères spéciales, Polycopié, I.N.A. Département de Phytotechnie et agriculture générale, Le laboratoire d'horticulture.
143. **Stephan G., Schmitt A., Corvalho S.M., Seddon B., Koch E. 2005.** Evaluation of biocontrol preparations and plant extracts for the control of *Phytophthora infestans* on potato leaves, *Eur. J. Plant Pathol.* 112, 235-346.
144. **Swiezynski K. M., Chrazanowska M., Domanski L, and Zimonoch-Guzowska E. 2001.** Comparison of resistance evaluation in potato variety assessment. *Potato Research* 44, 25-31.
145. **Swiontek K. 2003.** L'introduction d'une résistance au virus Y chez la pomme de terre par transgénèse sans marqueur de sélection. Mémoire DESS-Technologie du végétal, Station d'amélioration de la pomme de terre et des plantes à bulbes, I.N.R.A d'Angers, France, 47 p.
146. **Therrien C. D., Ritch D. L., Sujkowski L. S. Spielman L. J., Fry W. E., Daggett S. S., Sim J. H. et Tooley P. W. 1993.** *Phytophthora infestans* in Poland from 1987-1989; nuclear DNA content, mating type distribution and response to metalaxyl. *Journal of Phytopathology*, 139, 68-80 p.
147. **Thurston H. D. et Schltz O. 1981.** Late blight in compendium in potato disease, Hooker editions, APS Press Michigan, USA, 40-42 p.

148. **Tongle Hu., Shutong W., Keqiang C. and Forrer H.R. 2002.**Inhibitory effects of several Chinese medicinal herbs against *Phytophthora infestans*. Acta Horticulturae 2009 No. 834 p. 205-210.
149. **Vartanian V. G. et Endo R. N. 1985.** Overwintering hosts, compatibility types, and races of *Phytophthora infestans* on tomato in southern California, Plant disease 69, 516-519 p.
150. **Wang S., Wang X., Liu J-l. and Cao K-Q. 2001.** Screening of Chinese herbs for the fungitoxicity against *Phytophthora infestans*. Journal of Agricultural University of Hebei, 7p.
151. **Widmark P.O. 2010.** The Late Blight Pathogen, *Phytophthora infestans*, TH de doctorat, Swedish University of Agricultural Sciences, 69 p.
152. **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.,
153. **Yanar Y., Kadioğlu I., Gökçe A., Demirtaş İ., Gören N. Çam, H. and Whalon M. 2011.** *In vitro* antifungal activities of 26 plant extracts on mycelial growth of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. African Journal of Biotechnology, Vol. 10, Issue 14, 2625-2629.
154. **Zarouri W. et Benameur, H. 2011.** Pouvoir antifongique d'une gamme d'extraits aqueux de plantes à l'égard de deux isolats algériens de *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary. Agent responsable du mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie. Th. Ing. Univ. Saad Dahleb de Blida, Algérie, 47.
155. **Zwankhuizen M. J. 1998.** Potato late blight epidemics and population structure of *Phytophthora infestans*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands: 147 p.

Sites internet consultés :

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

<http://www.fao.org>

<http://www.eucablight.org>

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

<http://www.esmisab.univ-brest.fr>

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

I Synthèse bibliographique

1.1 Aperçu sur la pomme de terre.....	3
1.1.1. Description botanique.....	3
1.1.2. Origine et historique.....	4
1.1.3. Exigences culturales.....	4
1.1.4. Cycle biologique de développement.....	4
1.1.5. Importance économique.....	6
1.1.6. Situation de la culture de pomme de terre en Algérie.....	8
1.1.7. Importation des semences de pomme de terre et la gamme variétale multipliée.....	10
1.1.8. Principaux problèmes phytosanitaire de la pomme de terre.....	11
1.2 Généralités sur l'agent causal (<i>Phytophthora infestans</i>).....	13
1.2.1. Historique.....	13
1.2.2. Position taxonomique.....	13
1.2.3. Aspect cultural.....	14
1.2.4. Aspect morphologique.....	14
1.2.5. Compatibilité sexuelle « mating type » de <i>P. infestans</i>	15
1.2.6. Spécificité parasitaire.....	16
1.3 Généralités sur le mildiou de la pomme de terre.....	17
1.3.1. Origine.....	17
1.3.2. Symptomatologie.....	17
1.3.3. Importance de la maladie.....	20
1.3.4. Cycle biologique.....	20
1.3.5. Résistance de <i>P. Infestans</i> aux fongicides.....	21
1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre.....	22
1.4.1. La lutte préventive ou prophylactique.....	22
1.4.2. La lutte chimique.....	23

1.4.3. La lutte génétique.....	23
1.4.4. La lutte biologique et l'intérêt des plantes médicinales dans les cultures biologiques.....	24
1.5 Généralités sur les plantes étudiées.....	26
1.5.1. La Prêle des champs (<i>Equisetum arvense</i>).....	26
1.5.2. La Posidonie de Méditerranée (<i>Posidonia oceanica</i>)	26
1.5.3. Le Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>).....	27
1.5.4. La Sauge (<i>Salvia officinalis</i>).....	28

II Matériels et méthodes

2. Introduction.....	30
2.1 Matériel biologique.....	30
2.1.1. Les plantes médicinales.....	30
2.1.2. Les tubercules de semences.....	32
2.1.3. Matériel fongique.....	32
2.2. Méthodes.....	33
2.2.1. Echantillonnage des plantes.....	34
2.2.2. Préparation des poudres et des extraits aqueux des plantes.....	34
2.2.2.1.Préparation des extraits aqueux des plantes.....	34
2.2.2.2.Préparation des poudres.....	35
2.2.3. Mise en culture de la pomme de terre.....	35
2.2.3.1.Préparation du substrat et des pots.....	35
2.2.4. Préparation de l'inoculum.....	35
2.2.5. Evaluation du pouvoir antifongique des préparations à base des plantes sur le mildiou de la pomme de terre.....	36
2.2.5.1.Inoculation et modalités d'application des traitements.....	36
2.2.5.2.Lecture des résultats.....	37
2.3. Analyse statistique.....	38

III Résultats et discussion

3.1 Description des symptômes.....	40
3.2 Période d'apparition des symptômes.....	40
3.3 Incidence de la maladie.....	44
3.4 Nombre de lésions développées par plant.....	45
3.5 Réduction de la maladie.....	47
3.6 Discussion.....	55
CONCLUSION.....	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

ANNEXES

Annexes

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

Variété Caractéristiques	Spunta
Maturité	mi- précoce
Tubercule	très gros allongée, peau jaune
Rendement	élevé, calibre uniforme
Germe	grand, gros cylindrique et, radicelle abondantes et nombreuses
Date de certification	12-11-2010
Origine	Nederland
Calibre (mm)	35-55
Type culinaire	B
Qualité culinaire	bonne tenue à la cuisson, groupe culinaire B, très léger noircissement après cuisson, coloration à la friture : R.A.S.

- **Composition du milieu de culture à base de petit pois :**

Selon Hammi (2003), Le milieu petit pois est composé de : - 140g de petit pois. - 20g agar. - 1000 ml d'eau distillée stérile.