

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

FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du
Diplôme de Master En sciences de la nature et de la vie.

Filière d'Agronomie.

Spécialité : Biotechnologie des plantes aromatiques, médicinales,
Et produits naturels.

Thème :

**Activité antifongique *in vitro* d'une gamme d'extraits de plantes à l'égard
de *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary. agent causal du mildiou de la
pomme de terre.**

Présenté par : SADDEK Dounia

Devant le jury composé de :

Mme Houmani Z.	Pr.	USDB	Présidente du jury
Mme Moumene S.	M.A.A	USDB	Promotrice
Mr Ali Oussalah A.E.H.	M.A.A	USDB	Examineur
Mme Chebata N.	M.A.A	USDB	Examinatrice

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2011/2012

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail je tiens à remercier :

- ❖ Avant tout le bon DIEU, le tout puissant qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour accomplir mon travail.
- ❖ J'exprime d'abord mes profonds remerciements et ma vive reconnaissance à madame Moumene Saida, promotrice de ce travail, pour avoir accepté de m'encadrer, pour ses orientations, ses encouragements et pour l'effort consenti à me faire profiter de ses connaissances.
- ❖ Mme Houmani Z. pour avoir fait l'honneur de présider ce jury.
- ❖ Mr Ali Oussalah A.E.H. pour avoir accepté de faire partie du jury.
- ❖ Mme Chebata N. pour avoir bien voulu juger notre travail.
- ❖ Mme Benbachir afifa, pour ses efforts tout au long de la réalisation de ce travail.
- ❖ Melle Bencheikh Khadidja et Mr Bellatrache Mohamed, qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude pour leurs aides au cours de la préparation de ce mémoire.
- ❖ Mr Djebaili Fayçal le directeur de la Station régional de la protection des végétaux de Boufarik pour m'avoir permis de travailler au niveau de ses laboratoires.
- ❖ Toute l'équipe de la SRPV de Boufarik en particulier Nassima, pour son aide, qu'elle reçoit mes sentiments de gratitude.
- ❖ J'adresse encore mes remerciements à tous les membres du laboratoire Biotechnologie des plantes aromatiques, médicinales et produits naturels de l'université Saad Dahleb de Blida, en particulier Melle Sihem.

Mes sentiments de reconnaissance, de gratitude et mes remerciements vont également à toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Avec l'aide du bon Dieu, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie à

A l'être qui m'est le plus cher au monde, à toi maman, je n'oublierai jamais ton soutien pour moi et surtout ta bonne éducation que dieu te bénisse et te protège.

A ma très chère sœur Sihem, qu'elle trouve ici toute ma gratitude pour son encouragement tout au long de mes études et de ma vie.

A mon petit cher frère Lotfi, qui m'a toujours encouragé à sa manière exceptionnelle.

A ma promotrice madame Moumene Saida, pour tout ce que vous avez fait pour moi ; tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, le respect, la reconnaissance que Je ressens

A mes amis et mes collègues Sabrina, Meriem, Yacine, Rym, Bilal, Mohamed et surtout Khadidja pour tous les moments agréables qu'on a passé ensemble

A tous ceux qui me sont chers et ceux et celles qui m'aiment pour leur présence de tous les instants, pour le soutien qu'ils m'ont apporté.

Avec toute mon affection et ma reconnaissance

Résumé

Activité antifongique *in vitro* d'une gamme d'extraits aqueux de plantes à l'égard de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie

L'utilisation accrue des fongicides systémiques dont la matière active est à base de metalaxyl est devenue inefficace contre le mildiou de la pomme de terre à cause de la résistance développée par les souches agressives du type A2 de *P. infestans*. Dans le but de recherche de méthodes alternatives de lutte contre cette maladie redoutable, le présent travail repose sur l'étude *in vitro* du pouvoir antifongique des extraits aqueux de sept plantes médicinales: Prêle des champs (*Equisetum arvense*), Ortie (*Urtica dioica*), Pacanier (*Carya illinoensis*), Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*), Romarin (*Rosmarinus officinalis*), Sauge (*Salvia officinalis*), Menthe odorante (*Mentha suaveolens*) , d'une plante marine (*Posidonia oceanica*) et d'une algue marine du genre *Ulva* vis-à-vis de trois isolats algériens de *P. infestans* collectés de trois zones productrices de pomme de terre, El abadia, Bourkika et El attaf, purifiés et identifiés respectivement comme deux A2 et un A1. Dans ce sens, la technique de contact direct de ces extraits purs et aux concentrations 5, 10 et 20% sur milieu à base de petits pois (PPA) a été retenue.

En effet, mise à part les extraits à base d'algue du genre *Ulva* , Les taux d'inhibition enregistrés pour l'ensemble des extraits végétaux testés ont dépassé 80 à une concentration minimale inhibitrice variant de 5 à 75% selon l'isolat fongique et la nature de l'extrait testé. Par ailleurs, des modifications structurales, traduites par la lyse ou la vésiculation du mycélium, ainsi que par la déformation ou la digestion du contenu des sporanges ont affecté la morphologie des trois souches de *P. infestans* à partir de la plus faible concentration. Parallèlement, le pouvoir inhibiteur de ces extraits a également affecté la sporulation et la germination (94%). De même, l'absence de reprise de la croissance mycélienne sur milieu PPA et l'absence de développement des symptômes du mildiou sur feuilles détachées de la variété Spunta de la pomme de terre ont confirmé l'effet fongicide de ces derniers. Dans ce sens, le pouvoir antifongique de l'ensemble des extraits aqueux de plantes étudiés a été confirmé à l'égard de *P. infestans* surtout les extraits du pistachier lentisque, du pacanier, de la menthe à feuilles rondes, de la sauge et du romarin ; en vue de leur utilisation comme bio-fongicides dans la gestion du mildiou de la pomme de terre.

Mots clés: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, Pouvoir antifongique, extraits de plantes

Summary

***In vitro* antifungal activity of a range of aqueous extracts of plants against *Phytophthora infestans* (Mount.) Of Bary. Causal agent of the mildew of the potato *Solanum tuberosum* L. in Algeria.**

The greater use of systemic fungicides where the active ingredient is based on metalaxyl became ineffective against the mildew of the potato because of the resistance developed by the aggressive strains of the type A2 of *P. infestans*. With the aim of research for alternative methods of fight against this formidable disease; The present work bases on the *in vitro* study of the antifungal power of the aqueous extracts of seven medicinal plants : horsetail (*Equisetum arvense*), nettle (*Urtica dioica*), pecan tree (*Carya illinoensis*), Pistacia lentiscus (*Pistacia lentiscus*), rosemary (*Rosmarinus officinalis*), sage (*Salvia officinalis*), fragrant mint (*Mentha suaveolens*), of a marine plant (*Posidonia oceanica*) and of a seaweed of the Genus *Ulva* on three Algerian isolates of *P. infestans* collected in three producing areas of potato, El abadia, Bourkika and El attaf, purified and identified respectively as two A2 and one A1. In this sense, the technique of direct contact of these pure extracts and in the concentrations 5, 10 and 20 % on pea medium (PPA) was retained.

Indeed, with the exception of extracts of *Ulva sp*, the rates of inhibition registered for all the tested plant extracts overtook 80%, in a minimal inhibitive concentration varying between 5 % to 75 % according to the fungal isolate and the nature of the extract. Besides, structural modifications, translated by the lyses or the vesiculation of the mycelium, as well as by the distortion or the digestion of the contents of sporangia affected the morphology of the three strains from the lowest concentration. The sporulation and the germination were also very inhibited by these aqueous extracts (94%). Also, the absence of the resumption of the mycelial growth on middle PPA and the absence of the development of the symptoms of the mildew on leaves spare from the variety Spunta of the potato confirmed the fungicidal effect of the latter. In this the antifungal power of all the aqueous extracts of plants studied was confirmed towards *P. infestans* specially the extracts of Pistacia lentiscus, pecan tree, fragrant mint, sage and rosemary with the aim of their use as bio-fungicides in the management of the mildew of the potato.

Keywords: *Phytophthora infestans*, *Solanum tuberosum*, antifungal Power, extracted from plants.

القدرة المضادة للفطريات في المختبر لمجموعة من المستخلصات النباتية « *Phytophthora infestans* »

البياض الزغبي

زيادة استخدام مبيدات الفطريات الجهازية المكونة من المادة الفعالة Metalaxyl أصبحت غير فعالة ضد مرض اللفحة المتأخرة للبطاطس بسبب المقاومة المطورة من طرف سلالات عدوانية من نوع *P. infestans* A2 .
من أجل البحث عن طرق بديلة لمحاربة هذا المرض المُمِيب.

يستند هذا العمل على الدراسة في المختبر للقدرة المضادة للفطريات لمستخلصات سبعة نباتات طبية:

ذيل الحصان (*Equisetum arvense*)، القراص الكبير (*Urtica dioica*) (*Carya illinoensis*)
(*Pistacia lentiscus*)، إكليل الجبل (*Rosmarinus Officinalis*)، المريمية (*Salvia officinalis*)، المرسيطة
(*Mentha suaveolens*) عشبه بحرية: (*Posidonia oceanica*) *Ulva*
جزائرية ل *P. infestans* : العبادية بورقيقة و العطاف انتقيت وحددت على

التوالي كاثنين من A2 A1 .

في هذا المعنى تم اختيار تقنية الاتصال المباشر حيث استخدمت المستخلصات النقية و التركيزات 5 10 20

(PPA) .

Ulva معدلات التنشيط المسجلة للمستخلصات النباتية المختبرة تجاوزت

80 مع تركيز أدنى مثبت يتراوح بين 5 75% اعتمادا على العزل الفطرية و على طبيعة المستخلص.

تغيرات هيكلية مترجمة في تحلل وتحوصل الغزل الفطري و كذلك هضم الأكياس البوغية أثرت على مورفولوجية

السلالات الثلاث من أدنى تركيز.

وأيضا التبوغ والإنبات تثبطا للغاية من طرف هذه المستخلصات المائية (94) .

PPA وعدم وجود أعراض البياض الز

منفصلة من نوع سبونتا من البطاطس كافيا لتأكيد التأثير مبيد للفطريات لهذه المستخلصات.

في هذا القدرة المضادة للفطريات في المختبر لكل من المستخلصات النباتية تأكدت ضد *P. infestans*

المرسيطة المريمية و إكليل لاستخدامهم كمبيدات حيوية للفطريات في إدارة اللفحة المتأخرة للبطاطس.

: *Solanum tuberosum Phytophthora infestans* القدرة ضد فطرية، لمستخلصات النباتية.

Liste des abréviations

A1 : souche de *Phytophthora infestans* du type sexuel A1

A2 : souche de *Phytophthora infestans* du type sexuel A2

ACP : Analyse des composantes principales

CIF : Concentrations inhibitrices fongicides

CMI : concentrations minimales inhibitrices

Ddl : nombre de degrés de liberté

DT : Diamètre de la croissance mycélienne du champignon témoin

Dt : Diamètre de la croissance mycélienne du champignon traité

G : X500 : au grossissement 500 sous microscope photonique

GLM : General Linear Model

Gr x 125 : au grossissement 125 sous microscope photonique

Gr x 1250 : au grossissement 1250 sous microscope photonique

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

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

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

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

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

Inf : Taux d'infection des feuilles en %.

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

Gt : Concentration en sporanges germés de l'inoculum traité

GT : Concentration en sporanges germés de l'inoculum témoin

P. infestans : *Phytophthora infestans*

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

S. berthaultii : *Solanum berthaultii*

S. bulbocastanum : *Solanum bulbocastanum*

S. demissum: Solanum demissum

S. phureja : Solanum phureja

S. tuberosum: Solanum tuberosum

ST : Concentration en sporanges de l'inoculum témoin

St : Concentration en sporanges de l'inoculum traité

Vers : Version

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Classement des dix premiers pays producteurs de pomme de terre dans le monde en 2008.....	07
Tableau 2 :	Bilan global de production de la pomme de terre de consommation et de multiplication durant la campagne 2009/2010.....	09
Tableau 3 :	Principales maladies et principaux ravageurs limitant la culture de la pomme de terre.....	11
Tableau 4 :	Données sur les espèces végétales et algues macroscopiques testées ...	29
Tableau 5 :	Analyse de la variance des taux d'inhibition de la croissance mycélienne des trois isolats étudiés après traitement par les neuf extraits de plantes <i>in vitro</i>	40
Tableau 6 :	Analyse de la variance des CMI des différents extraits étudiés.....	41
Tableau 7 :	Analyse de la variance de la sporulation des trois souches de <i>P. infestans</i> traitées par les extraits de plantes étudiées <i>in vitro</i>	46
Tableau 8 :	Analyse de la variance de la germination des trois souches de <i>P. infestans</i> traitées par les extraits de plantes étudiées <i>in vitro</i>	50
Tableau 9 :	Analyse de la variance de la survie sur milieu de culture et sur feuilles détachées de la pomme de terre des trois souches de <i>P. infestans</i> traitées par les extraits de plantes étudiées <i>in vitro</i>	57
Tableau 10 :	Analyse de la variance des taux de diminution de l'incidence de la maladie des trois souches de <i>P. infestans</i> traitées par les extraits de plantes étudiées <i>in vitro</i>	60
Tableau 11 :	Analyse de la variance des CIL des trois souches de <i>P. infestans</i> traitées par les extraits de plantes étudiées <i>in vitro</i>	63
Tableau 12 :	Analyse de la variance des CMI / CIL des trois souches de <i>P. infestans</i> traitées par les extraits de plantes étudiées <i>in vitro</i>	64

Tableau 13 :	Analyse de la variance des différents paramètres étudiés selon les trois souches de <i>P. infestans</i> traitées par les extraits de plantes étudiées <i>in vitro</i>	66
---------------------	---	----

Liste des figures

Figure 1 :	Morphologie de la pomme de terre.....	04
Figure 2 :	Cycle végétatif de la pomme de terre.....	06
Figure 3 :	Classement des principales cultures en Algérie.....	08
Figure 4 :	Aspect cultural d'un isolat Algérien de <i>Phytophthora infestans</i> sur milieu gélosé à base de petit pois.....	12
Figure 5 :	Morphologie de la forme asexuée (1) (G : X500) et de la forme sexuée de <i>P. infestans</i> (2) (Gr x 1250).....	13
Figure 6 :	Symptômes du mildiou sur plants de pomme de terre au champ.....	15
Figure 7 :	Cycle de développement du mildiou.....	17
Figure 8 :	Ortie dioïque.....	29
Figure 9 :	Prêle.....	29
Figure 10 :	Sauge.....	29
Figure 11 :	pacanier.....	29
Figure 12 :	Romarin.....	30
Figure 13 :	pistachier lentisque.....	30
Figure 14 :	menthe odorante.....	30
Figure 15 :	Posidonie.....	30
Figure 16 :	Ulve.....	30
Figure 17 :	Aspect cultural et morphologie (microscopique) des trois isolats de <i>Phytophthora infestans</i> (Gr x 125).....	31
Figure 18 :	Préparations des extraits aqueux.....	32
Figure 19 :	Etapes du test de survie <i>in vivo</i>	36
Figure 20 :	Impact des extraits de plantes sur la croissance mycélienne des isolats de <i>P. infestans</i>	38
Figure 21 :	Inhibition de la croissance mycélienne de <i>P. infestans</i> traités par les extraits aqueux des plantes et d'algue en modèle GLM selon la nature des extraits, leurs concentrations et les souches étudiées	40
Figure 22 :	Concentration minimale inhibitrice des extraits aqueux des plantes en modèle GLM selon la nature des extraits et des souches étudiés.....	42
Figure 23 :	Analyse en composante principale (ACP) et classification hiérarchique des	43

	neuf extraits de plantes selon les taux d'inhibition de la croissance mycélienne des isolats de <i>P. infestans</i>	
Figure 24 :	Effet des extraits aqueux des plantes sur le mycélium des souches étudiées.	44
Figure 25 :	Effet des différents extraits sur la sporulation des isolats de <i>P. infestans</i>	45
Figure 26 :	Taux d'inhibition de la sporulation des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits, leurs doses et les souches étudiées.....	47
Figure 27 :	Classification hiérarchique et analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la sporulation en fonction des extraits, des doses et des souches	48
Figure 28 :	Germination des sporanges des isolats de <i>P. infestans</i> chez les témoins et les traitements non efficaces	49
Figure 29 :	Taux d'inhibition de la germination des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits, leurs doses et les souches étudiées.....	50
Figure 30 :	Classification hiérarchique des extraits de plantes selon les taux d'inhibition de la germination des isolats de <i>P. infestans</i> en fonction des extraits, des doses, et des souches.....	51
Figure 31 :	Analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la germination en fonction des extraits, des doses et des souches.....	52
Figure 32 :	Survie des trois isolats de <i>P. infestans</i> sur milieu après application des traitements.....	53
Figure 33 :	Survie des trois isolats de <i>P. infestans</i> sur feuilles détachées de la pomme de terre après application des traitements.....	54
Figure 34 :	Taux d'inhibition de la reprise de la croissance mycélienne des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits, leurs doses, les souches étudiées et le mode de survie.....	57
Figure 35 :	Analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la survie sur milieu et sur feuilles détachées de la pomme de terre des trois isolats de <i>P. infestans</i> en fonction des extraits des plantes et leurs doses.....	59
Figure 36 :	Taux de réduction de l'incidence de la maladie des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits et leurs doses.....	61
Figure 37 :	Analyse en composante principale (ACP) de la réduction de l'incidence de la maladie des trois isolats de <i>P. infestans</i> en fonction des extraits des plantes et leurs doses	62

Figure 38 : CIL des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits	64
Figure 39 : CIM / CIL des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits.....	65
Figure 40 : Inhibition des différents paramètres des trois souches étudiées en modèle GLM	66

SOMMAIRE

INTRODUCTION	01
Chapitre 1: Données bibliographiques	
1.1 Aperçu sur la culture de pomme de terre.....	03
1.2 Généralités sur l'agent phytopathogènes.....	12
1.3 Généralités sur la maladie.....	14
1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre	17
1.5 Aperçu sur les plantes médicinales utilisées dans la lutte biologique	19
1.6 Généralités sur les plantes étudiées	20
Chapitre 2 : Matériels et méthodes	
2 Introduction	28
2.1 Matériel biologique	28
2.2 Méthodologie	32
2.2.1 Préparation des poudres et des extraits aqueux	32
2.2.2 Etude du pouvoir antifongique <i>in vitro</i> des extraits aqueux des végétaux testés à l'égard de <i>Phytophthora infestans</i>	32
2.2.3 Survie des isolats de <i>P. infestans</i> après traitements	35
2.3 Analyse statistique.....	37
Chapitre 3 : Résultats et discussion	
3.1 Résultats	38
3.1.1 Evaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne	38
3.1.2 Mycoparasitisme.....	44
3.1.3 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la sporulation de	45

<i>P.infestans</i>	
3.1.4 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la germination de <i>P.infestans</i>	49
3.1.5 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la survie <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> de <i>P. infestans</i>	52
3.1.6 Evaluation de la concentration inhibitrice fongicide (CIF).....	63
3.1.7 Analyse globale des résultats obtenus.....	66
3.2 Discussion.....	67
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE	

INTRODUCTION

Introduction

La culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) occupe une grande importance économique et sociale à l'échelle nationale et internationale (Duvauchelle et Andrivon , 2007), elle est l'une des plus importantes cultures dans le monde entier en raison de sa haute valeur pour la nutrition humaine (Desjardins et *al.*, 1995; FAOstat, 2010). C'est la cinquième culture cultivée dans le monde après la Canne à sucre, le maïs, le riz et le blé, avec une superficie d'environ 20 millions d'hectares et un rendement total de 324.420.782 tonnes en 2010 (Widmark, 2010 ; FAOstat, 2012).

En Algérie la pomme de terre est l'une des principales cultures maraichères avec une superficie d'environ 130000 ha sur les 300 000 ha destinés au maraichage (Chehat, 2008 ; FAOstat, 2012).

Cependant elle peut faire l'objet d'attaques de plusieurs ravageurs tels que les pucerons, les thrips et la teigne et de plusieurs maladies virales, bactériennes et fongiques telles que la jambe noire, l'alternariose, la pourriture grise et le mildiou (Laftah, 1997).

Le mildiou constitue l'une des maladies les plus largement distribuées géographiquement qui est causée par l'oomycète *Phytophthora infestans* classé parmi les agents pathogènes les plus dommageables et considéré comme une contrainte majeure pour la croissance et la production de la pomme de terre (Alim, 2010).

Chaque année, les producteurs de pommes de terre craignent que l'infection se répande dans leurs champs et cause des pertes de rendement et de qualité. Lorsque les conditions météorologiques sont favorables au champignon et qu'aucune mesure n'est prise contre la maladie, le mildiou peut entraîner la perte totale de la récolte (Changins et Reckenholz, 2008). En effet les pertes en rendement occasionnées par le mildiou varient de 20 à 50% dans les pays développés, et peuvent atteindre 100% dans le cas des attaques sévères et des variétés sensibles. (Andrivon et Lebreton, 1997 ; Goodwin et *al.*, 1998)

Dans notre pays, une superficie estimée entre 25 000 ha à 26 000 ha destinée à la production de la pomme de terre est affectée par le *phytophthora infestans* ce qui avoisine les 20 % de perte de rendement (BASF, 2012).

L'utilisation des fongicides à base de cuivre est une stratégie largement mise en œuvre pour contrôler cette maladie (Inglis et *al.*, 1996 ; Fry et Goodwin, 1997).

Ainsi pour diminuer ces pertes, les procédures de lutte en Algérie reposent essentiellement sur l'utilisation des produits chimiques qu'ils soient de contact ou systémiques (Beninal, 2011), mais cette méthode a trouvé plusieurs contraintes qui s'expliquent aussi bien par le coût élevé

de ces fongicides, que par leurs effets néfastes sur l'environnement et sur la santé des consommateurs (Bekele et Mela, 2002).

Parmi ces contraintes, l'apparition de nouvelles souches de *Phytophthora infestans* agressives et résistantes aux fongicides dont la matière active est le metalaxyl a créé un nouveau défi de gestion de la maladie pour les agriculteurs. (Bashan et al., 1989; Daayf et Platt, 1999 ; 2000; Daayf et al., 2000).

A cet effet, depuis quelques années le monde agricole s'oriente vers une agriculture durable et raisonnée en développant le concept de protection biologique intégrée dite lutte biologique, évidemment dans le but de chercher d'autres alternatives et méthodes de lutte classique (Bekele et Mela, 2002).

Les extraits de beaucoup de plantes sont rapportés pour exposer des propriétés antibactériennes, antifongiques et insecticides. Des produits naturels isolés de ces végétaux semblent être l'une des alternatives de produits chimiques qui n'ont aucun impact sur l'environnement ni sur l'homme. (Varma et Dubey, 1999 ; Cao et Arina, 2001 ; Wang et al., 2004).

Dans ce concept et pour cette étude, 9 extraits aqueux à base de plantes et d'algues ont été évalués *in vitro* à l'égard de *Phytophthora infestans* pour déterminer leur pouvoir antifongique sur la croissance mycélienne, la sporulation et la germination tout en précisant les concentrations inhibitrices minimales et fongicides ainsi que la survie après traitements.

CHAPITRE : 1
DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

1.1 Aperçu sur la culture de la pomme de terre

1.1.1 Description botanique

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

Les tubercules sont comestibles, de tailles variables et de formes oblongues, plus ou moins allongées, cylindriques, lisses ou bosselées selon les variétés. A leur surface, on peut observer des yeux alignés sur cinq génératrices et disposés selon une courbe hélicoïdale qui court depuis la cicatrice basale jusqu'à l'apex. La couleur de la peau est généralement jaune, mais peut être rouge, noire, ou rosée. La couleur de la chair est blanche, jaune plus ou moins foncée, rose ou violette selon les variétés (Bock, 2012).

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

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

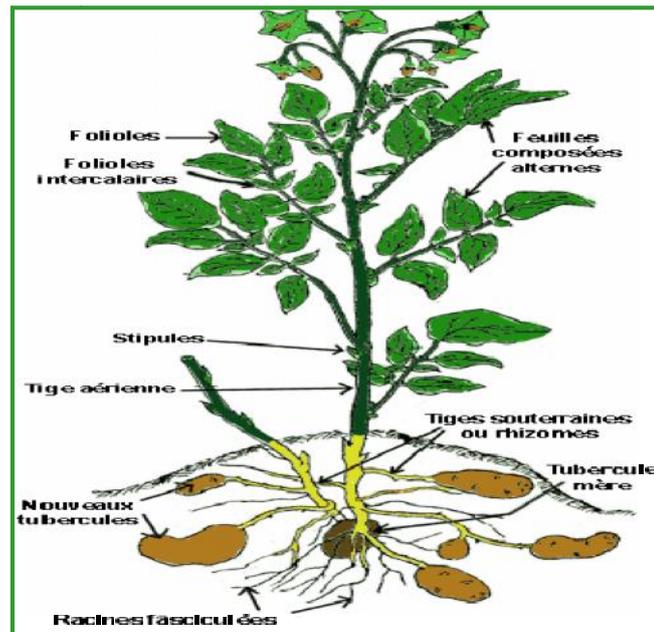


Figure 1. Morphologie de la pomme de terre (Soltner, 2005)

1.1.2 Historique

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

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

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

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

1.1.3 Exigences culturales

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

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

1.1.4 Cycle biologique de développement

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

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.

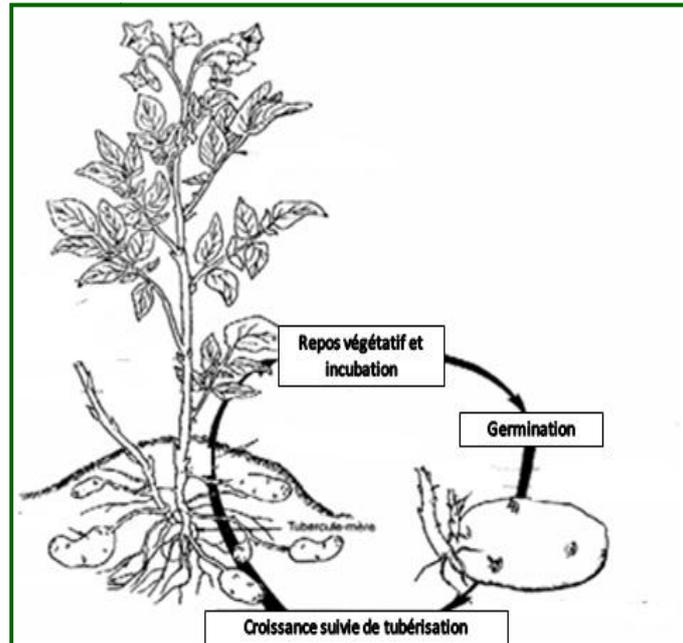


Figure 2. Cycle végétatif de la pomme de terre (Soltner, 2005)

1.1.5 Importance économique

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

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

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

L'Asie et l'Europe sont les pays les plus grands producteurs de la pomme de terre, présentant plus de 80% de la production mondiale (Tableau1). La Chine et l'Inde sont les leaders représentant le 1/3 de la 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 la pomme de terre dans le monde en 2008 (Anonyme, 2012)

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

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

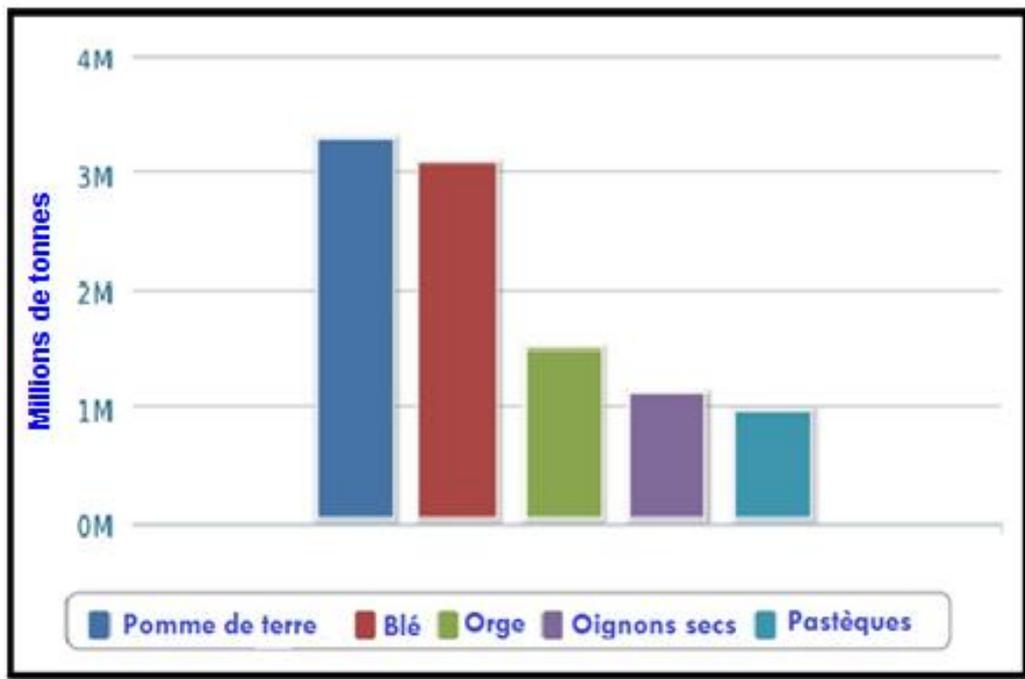


Figure 3. Classement des principales cultures en Algérie (2010) (FAOstat, 2012)

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

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

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

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

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

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

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

1.1.6 Problèmes phytosanitaires

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

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

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

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

1.2 Généralités sur l'agent phytopathogène

1.2.1 Systématique

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

1.2.2 Aspect culturel de *Phytophthora infestans*

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

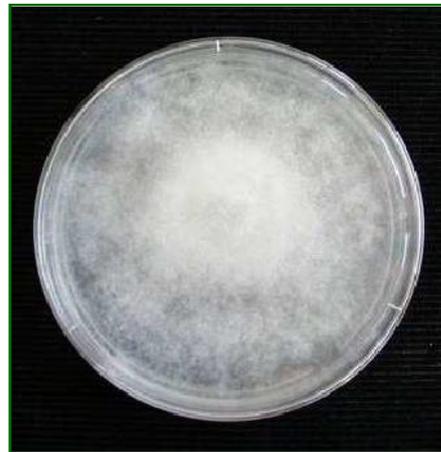


Figure 4. Aspect culturel d'un isolat Algérien de *Phytophthora infestans* sur milieu gélosé à base de petit pois (Ahmed-serrir et Moussaoui, 2011)

1.2.3 Morphologie

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



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

1.2.4 Spécificité parasitaire

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

1985 ; Erwin et Ribeiro, 1996). Christine et *al.* (2000) ont affirmé que la large apparition de nouveaux génotypes de *Phytophthora infestans* a contribué à l'élargissement de sa gamme d'hôtes.

1.3 Généralités sur la maladie

1.3.1 Historique

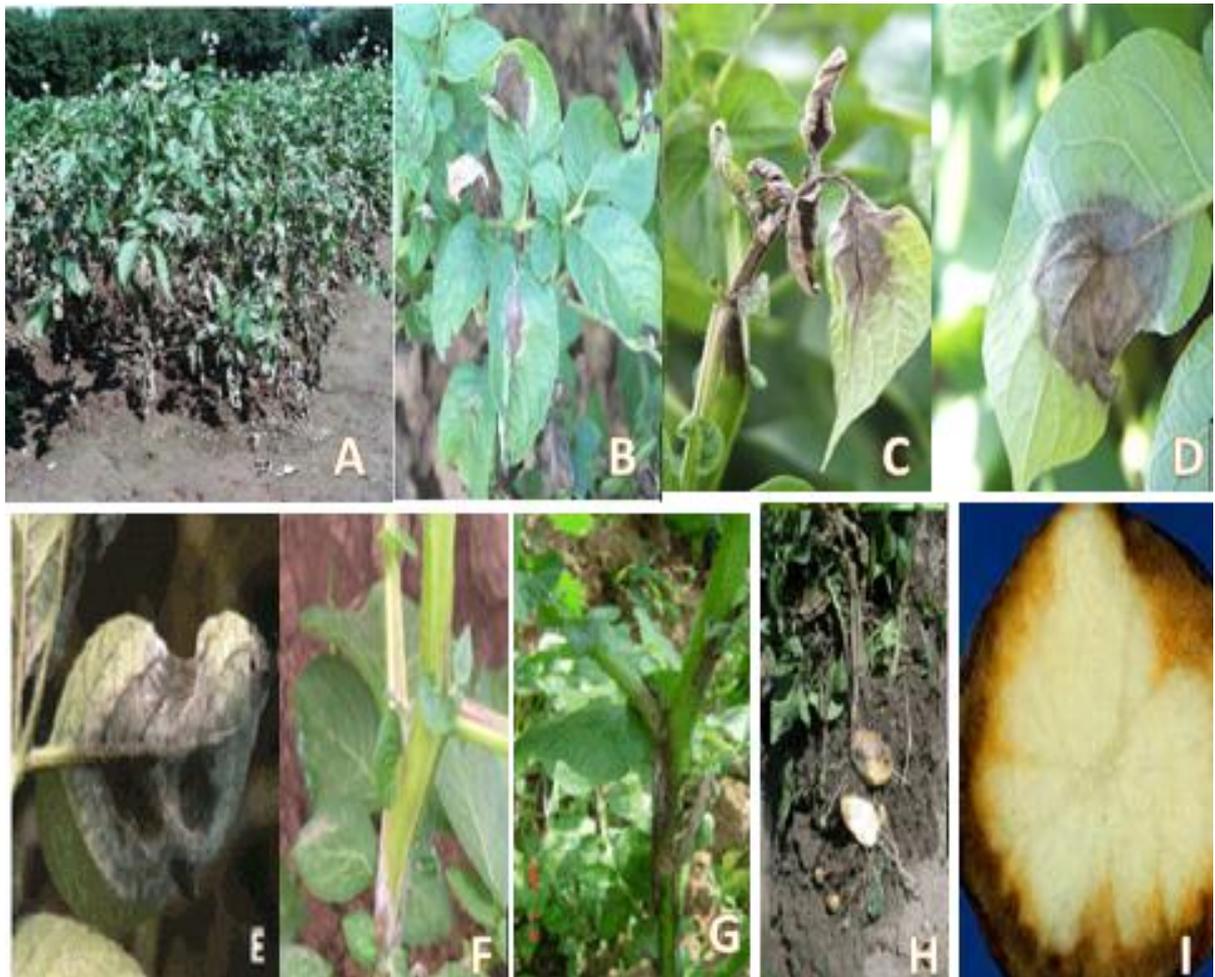
En Amérique du nord, le mildiou fut observé pour la première fois en 1843 près de Philadelphie aux Etats-Unis (Lacroix, 1999), alors que, la première épidémie en Europe remonte à 1845. Elle démarra en Belgique, puis se propagea, vers la Suisse, la France, le sud de l'Angleterre et en Irlande où elle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

1.3.2 Symptômes

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

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

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



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

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

1.3.3 Importance économique de la maladie

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

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

1.3.4 Cycle biologique de la maladie

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

Les sporocystes constituent l'unité de la reproduction asexuée. Ils germent soit directement par émission d'un ou de plusieurs tubes germinatifs soit indirectement par production des zoospores (Harrison et Lowe, 1990). Ces propagules seront à l'origine des contaminations secondaires. L'infection des tubercules se fait souvent par les zoospores de *P. infestans* qui sont facilement drainées avec l'eau d'irrigation ou des précipitations. Le phytopathogène infecte les tubercules au niveau des lenticelles, des yeux, des stolons ou des blessures mais ne pénètre jamais à travers le périoderme (Swizynsky et *al.*, 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'infester (Figure 7) (Polèse, 2006).

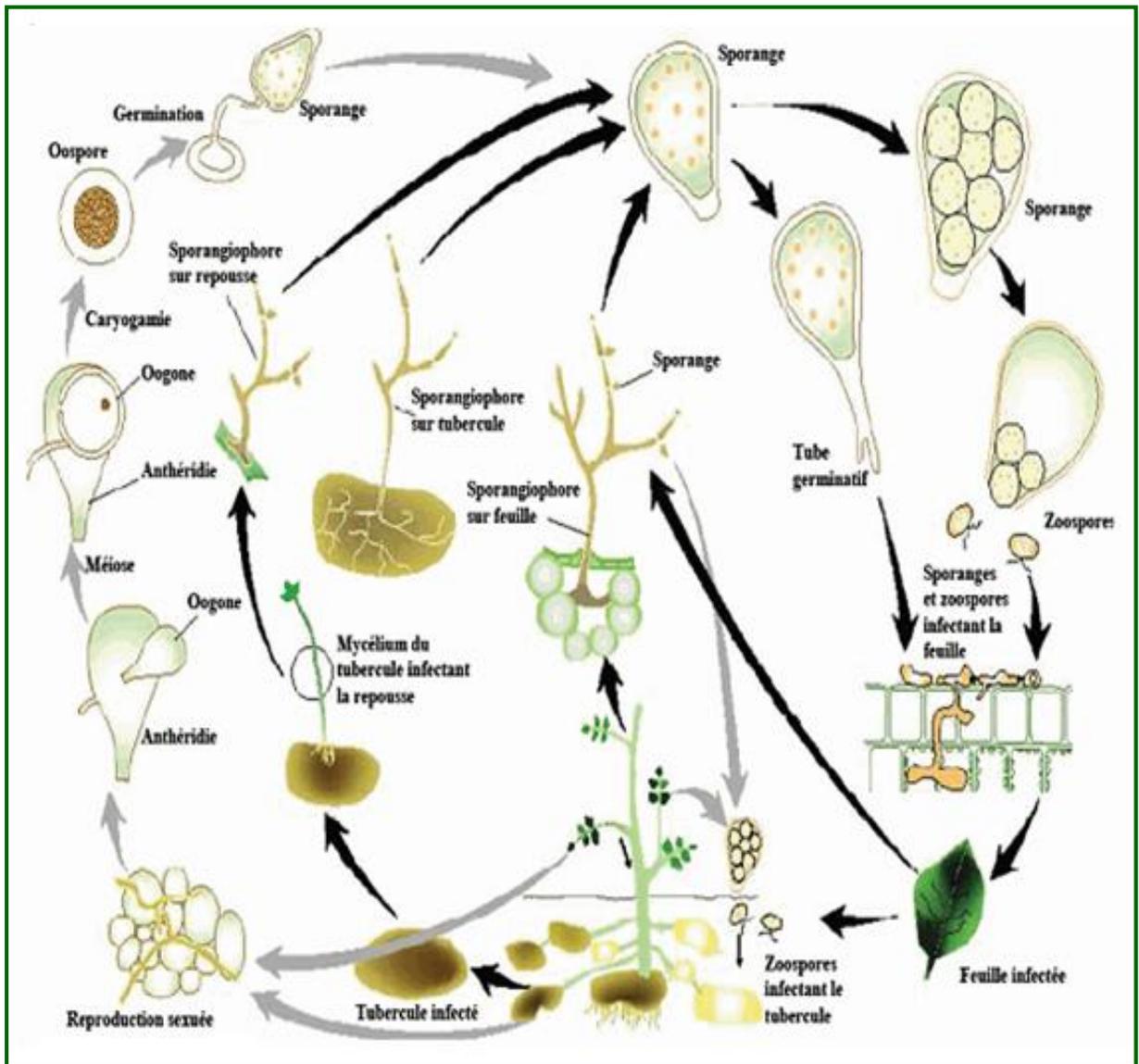


Figure 7. Cycle de développement du mildiou (Haine et Verlainne, 2006)

1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre

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

1.4.1 Méthodes préventives et prophylactiques

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

1.4.2 Lutte chimique

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

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

1.4.3 Lutte génétique

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

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

1.4.4 Lutte biologique

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

Avec l'avènement des techniques de biologie moléculaire et dans le cadre de la recherche des méthodes alternatives de protection des cultures, plusieurs laboratoires académiques et publics

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

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

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

1.5 Aperçu sur les plantes médicinales utilisées dans la lutte biologique

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 ; Marinkovic et *al.* 2002; Oplache-Nova et Obreshkova, 2003).

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.

Le recours au monde végétal et aux molécules qui ont permis aux plantes de se protéger contre les ennemis naturels devient donc indispensable (Regnault-Roger *et al.*, 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).

La défense aux infections fongiques engendre la synthèse de composés bioactifs (Morrisey et Osbourn, 1999), des protéines antifongiques (Selitrennikoff, 2001) et des peptides (Broekaert *et al.*, 1989). Ces composés se distinguent en plusieurs classes: les phénols ou composés phénoliques, les polyènes, les dérivés azotés, les analogues nucléotidiques et les allylamines (Chami, 2005). En effet, les composés à large spectre antifongique appartiennent à trois grandes familles chimiques : les phénylpropanoïdes et les substances phénoliques (Cakir *et al.*, 2004; Chuang *et al.*, 2007), les terpénoïdes et les stéroïdes (Grande *et al.*, 1992), les alcaloïdes et les composés azotés (Cowan, 1999).

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 *et al.*, 2002 ; Heinz *et al.*, 2006).

1.6 Généralités sur les plantes étudiées

1.6.1 La grande ortie (*Urtica dioica* L.)

D'après Vanstippe (2005), cette espèce (*Urtica dioica*) appartient au règne des *Plantae*, à la classe des *Magnoliopsida*, à l'ordre des *Urticales*, à la famille des *Urticaceae* et au genre *Urtica*.

La grande ortie encore appelée aussi ortie dioïque ou ortie commune, d'origine eurasiatique qui est aujourd'hui présente dans le monde entier est une plante herbacée, vivace, de 60 à 150 cm de hauteur, formant des colonies grâce à ses longs rhizomes. Tous ses organes sont recouverts de deux types de poils : de longs poils urticants et de petits poils souples ; ses tiges

sont dressées et non ramifiées, ses feuilles sont d'un vert foncé, opposées, ovales à lancéolées, et sont en général deux fois plus longues que larges ; elles sont bordées de fortes dents triangulaires ; leurs cellules épidermiques renferment des corpuscules calcifiés appelés cystolithes. La forme plus ou moins allongée des cystolithes est un caractère dérivé propre aux Urticacées, ses fleurs sont unisexuées, minuscules et réunies en grappes, mâles et femelles sur des pieds différents (pour la forme dioïque). Les grappes femelles sont tombantes alors que les grappes mâles sont dressées. La pollinisation est anémophile ; le fruit est un akène ovoïde (Campbell et *al.*, 2002 ; Ducerf, 2003 ; Bertrand et *al.*, 2007).

Le purin d'ortie est utilisé en lutte biologique pour éliminer ou repousser les insectes et comme fertilisant. Riche en azote, fer, potasse et oligo-éléments, il constitue un bon fortifiant pour les plantes et stimule la croissance et la résistance naturelle contre les ennemis et les maladies. Il est utilisé en jardinage biologique pour renforcer l'immunité des végétaux (Xavier, 2012).

1.6.2 La Menthe à feuilles rondes (*Mentha suaveolens*)

D'après Blamey et Wilson (2003), cette espèce (*Mentha suaveolens*) 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 *Mentha*.

La menthe odorante ou menthe à feuilles rondes ou encore baume sauvage est une plante vivace de 10 à 80 cm de hauteur. Les tiges sont en partie couchées, fleurissant abondamment dès le 1/3 inférieur. Les feuilles sont petites et rondes (1 à 2 cm) ridées en réseau, recouvertes de poils mous et ramifiés. Les fleurs sont petites, regroupées en grappes serrées, dressées à l'aisselle des feuilles.

Elles forment un tube étroit, rose, inséré dans un calice vert à 5 dents. La floraison se réalise de juillet à septembre. C'est une espèce commune des ruisseaux, fossés, bords des eaux, prairies humides, sentiers ombragés jusqu'à 1.600 m (Blamey et Wilson, 2003).

Les extraits de *Mentha suaveolens*, ont été caractérisés par leur activité antimicrobienne. Ces extraits ont été évalués contre des bactéries et des champignons pathogènes où ils ont montré une forte capacité d'inhibition pour tous les micro-organismes utilisés (Oumzil et *al.*, 2002).

Les principaux constituants aromatiques de cette plante sont classés dans l'ordre décroissant selon le pouvoir antifongique et antibactérien. On peut citer la pulegone, l'oxyde piperitenone et l'oxyde piperitone. D'autres dérivés aromatiques comme le carvone, le limonene et la menthone ont fait l'objet à d'autres études (Oumzil et *al.*, 2002).

1.6.3 La Posidonie de Méditerranée (*Posidonia oceanica*)

D'après 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, elle n'est pas constituée d'un thalle, bien qu'elle vive sous l'eau, il s'agit d'une plante angiosperme monocotylédone sous-marine. Comme toutes les plantes à fleurs, elle a 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 (Buia et Mazzella, 2003).

Elle forme de vastes herbiers entre la surface et 40 m de profondeur. Ces herbiers constituent l'écosystème majeur de la Méditerranée et jouent un rôle important dans la protection des côtes contre l'érosion. C'est dans ces herbiers que beaucoup d'organismes, animaux et végétaux, trouvent la protection et l'alimentation (Buia et Mazzella, 2003).

P. oceanica présente des racines qui servent principalement à ancrer la plante au substrat, des rhizomes. Ces derniers, dont le diamètre peut atteindre un centimètre, poussent soit horizontalement (rhizomes « plagiotropes »), soit verticalement (rhizomes « orthotropes ») (Buia et Mazzella, 2003).

Cette espèce ne se trouve qu'en Méditerranée, occupant environ 3 % du bassin (correspondant à une superficie d'environ 38 000 km²), et étant une espèce clé de l'écosystème marin (Buia et Mazzella, 2003).

Cette dernière 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 (Buia et Mazzella, 2003).

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).

1.6.4 La Prêle (*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 prêle 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 Laporte-Cru, 1982 ; Domingo, 2006).

Les constituants volatils des tiges de Prêle 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 d'activité antimicrobienne très forte contre tous les agents étudiés (Radulovi et al., 2006).

Le purin de prêle s'avère être un excellent fongicide naturel contre les maladies cryptogamiques telles que le mildiou, la rouille, la cloque, la moniliose et la tavelure.

Il contient beaucoup de silice, élément qui améliore la résistance des cultures aux maladies (Xavier, 2012).

1.6.5 La Sauge (*Salvia officinalis*)

D'après Rameau et al. (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. Les feuilles pétiolées sont vert-pâle, veloutées, oblongues. Les fleurs, sur des hampes florales érigées, sont regroupées en petits glomérules (Rameau et al., 2008).

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 et *al.*, 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). Son efficacité reste liée à la présence de ces molécules identifiées comme, alpha-bisabolol, farnesol, anethole et carvacrol. (Jean et *al.*, 1992 ; Takeuchi et *al.*, 2005).

1.6.6 Le Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

D'après Rameau et *al.* (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 et *al.*, 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.

Les fleurs se présentent en grappes, ont une couleur qui varie du bleu pâle au violet. Comme pour la plupart des Lamiacées, le fruit est un tétrakène. Ce dernier est de couleur brune (Rameau et *al.*, 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 lipides, 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 la croissance mycélienne montre que leur utilisation aux concentrations basses pourraient avoir un potentiel significatif pour le contrôle biologique des champignons phytopathogènes tel que *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* et *Fusarium oxysporum* (Mehmet et Chalchat, 2008; Centeno et al., 2010).

Ses activités antibactériennes et antifongiques peuvent être résumées par la composition pétrolière de ses extraits (Carde-nas-Ortega et al., 2005; Pinto et al., 2006; Makhloufi et al., 2011). Les travaux de Davidson et Naidu (2000) ont révélé les composés phénoliques tels que les terpènes où l'on peut citer le borneol, la came-phore, 1,8 cineole, pinene, camphone, verbenonone et l'acétate bornyl.

1.6.7 Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L.)

D'après Fontaine (2009), cette plante (*Pistacia lentiscus*) appartient au règne des *Plantae*, à la division des *Magnoliophyta*, à la classe des *Magnoliopsida*, à l'ordre des *Sapindales*, à la famille des *Anacardiaceae* et au genre *Pistacia*.

Le pistachier lentisque est un arbuste poussant dans les garrigues et surtout les maquis des climats méditerranéens. Le lentisque est en général un arbrisseau pouvant atteindre trois mètres (Palevitch et Yaniv, 2000).

Les folioles, assez étroites et coriaces, sont de forme ovale à elliptique, terminées par une petite pointe. Leur nombre varie de deux à douze. Ces folioles portent souvent une galle, les fleurs mâles et femelles poussent sur des arbustes différents. Elles forment des racèmes de petite taille à l'aisselle des feuilles. Les fleurs sont apétales ; les mâles ont cinq petits sépales dont émergent cinq étamines rougeâtres reposant sur un disque nectarifère ; les femelles ont trois ou quatre sépales et un ovaire avec un style court à trois stigmates. La période de la floraison a lieu du mois de mars au mois de mai (Fontaine, 2009).

Le fruit est une petite drupe comestible, arrondie, d'environ cinq millimètres ; d'abord rouge, elle devient ensuite noire. La graine est identique aux pistaches (Fontaine, 2009).

Cette espèce était généralement utilisée dans la médecine traditionnelle contre diverses maladies comme l'asthme, l'ulcère, anti-inflammatoire, antiviraux et pour ces propriétés insecticides (Bakkali et al., 2008 ; Delazar et al., 2004).

L'activité antimicrobienne *in vitro* de *P. lentiscus* a aussi été évaluée sur des bactéries et des champignons (Cavar et al., 2008; Iauk et al., 1996).

L'activité antifongique semble être beaucoup plus intéressante contre les champignons phytopathogènes (Kordali et *al.*, 2003). Son efficacité réside dans la synergie de certains de ses composés (Derwich et *al.*, 2010). Cependant, l'activité antimicrobienne de son huile essentielle est traduite par la haute concentration en α -pinène (Baranowska et *al.*, 2002) et le linalol (Imelouane et *al.*, 2009). Le terpinenol et le γ -terpinéol, deux composants principaux de l'huile essentielle de cette plante ont été responsables de l'inhibition totale de la croissance mycélienne d'*Aspergillus flavus* (Barra et *al.*, 2007).

1.6.8 Le Pacanier (*Carya illinoensis*)

D'après Cook (2011), cette espèce (*Carya illinoensis*) appartient au règne des *Plantae*, à la division des *Magnoliophyta*, à la classe des *Magnoliopsida*, à l'ordre des *Juglandales*, à la famille des *Juglandaceae* et au genre *Carya*.

Le pacanier est un arbre cultivé principalement en Amérique du Nord pour son fruit. C'est un grand arbre de 20 à 25 mètres de haut en moyenne, mais il peut atteindre jusqu'à 40 mètres de haut et 6 mètres de circonférence (à 1 m de hauteur). Ses feuilles composées, imparipennées, longues de 35 à 60 cm ont de 11 à 13 paires de folioles, le pétiole est pubescent, le fruit de forme cylindrique oblongue est une drupe déhiscente jusqu'à la base. Le fruit sec, ou pacane, qui est en fait le noyau de la drupe, est de forme variable, généralement ovoïde, plus ou moins allongée. Il est lisse extérieurement et de couleur brune. Il mesure 3 à 4 cm de long sur 2 cm de diamètre. L'amande est bilobée et entourée d'une pellicule rouge clair (Hall, 2000 ; Villarreal-Lozoya et *al.*, 2006).

Les extraits d'écorce des pacaniers ont été largement testés et s'avèrent actifs contre plusieurs souches de bactéries et de champignons filamenteux (Royer et *al.*, 2010).

Ces derniers renferment majoritairement de la juglone qui est une molécule de la classe des polyphénols possédant un large spectre d'activités biologiques (Alice et *al.*, 1990 ; Gîrzu et *al.*, 1998 ; Auyong et *al.*, 1963). Une activité antimicrobienne, anti-tumorale, sédative, antioxydante, fongicide. La juglone est aussi considérée comme cytotoxique, capable de désactiver notamment le système enzymatique de protection de l'organisme contre le stress oxydatif. Une étude datant de 1967 identifiait ce composé comme responsable du caractère répulsif de l'extrait envers les insectes (Inbaraj et Chignell ,2003; Shrestha ,2009).

1.6.9 L'algue marine du genre *Ulva*

L'ulve appartient au règne des *Protista*, à la division des *Chlorophyta*, à la classe des *Ulvaes*, à l'ordre des *Chlorophyceae*, à la famille des *Ulvaceae* et au genre *Ulva*. (Hayden et al., 2003)

Les algues sont des cryptogames. Ce sont des plantes dépourvues de feuilles, tiges ou racines. Elles sont simplement constituées d'un thalle. Elles possèdent toutes de la chlorophylle permettant la photosynthèse. Les algues peuvent se reproduire par multiplication végétative, par fragmentation. C'est le mode de reproduction le plus courant chez les algues. Elles peuvent aussi libérer des spores qui germent et donnent naissance à un nouvel individu. La reproduction sexuée est moins utilisée. Les algues vertes contiennent des chlorophylles A, B et d'autres pigments. Elles sont présentes dans les eaux douces et les eaux salées. Si certaines atteignent le mètre, d'autres sont microscopiques (M.B.A.R.I., 2001).

Ulva sp. généralement connue comme la laitue de mer, a une morphologie qui permet à l'assimilation nutritive rapide, la haute capacité de stocker des substances nutritives et la reproduction massive spontanée (Santelices et Ugarte, 1987; M.B.A.R.I., 2001). Ces caractéristiques ont permis à *Ulva* de développer une distribution mondiale (Lahaye et Robic, 2007).

les algues marines sont une source riche de composés bioactifs qui peuvent trouver plusieurs applications dans l'agriculture (Aziz et al., 2003; Delattre et al., 2005; Chandia et Matsuhira, 2008).

La sélection détaillée de micro- et des macro-algues dans les 20 dernières années a révélé une nouvelle gamme entière de beaucoup d'activités biologiques. Les algues ont longtemps été utilisées comme des engrais de sol (Chandia et Matsuhira, 2008), Les composés d'algue peuvent jouer des rôles importants dans les interactions plantes / pathogènes (Paulert et al., 2009)

CHAPITRE : 2
MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériel biologique

Le matériel biologique est représenté par les plantes médicinales terrestres, une plante aquatique marine, des algues macroscopiques vertes et le matériel fongique.

2.1.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé lors de notre étude regroupe neuf espèces à savoir ; l'ortie (*Urtica dioica* L.), la prêle des champs (*Equisetum arvense* L.), la sauge (*Salvia officinalis* L.), le pacanier (*Carya illinoensis*), le romarin (*Rosmarinus officinalis* L.), le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L.), la menthe odorante (*Mentha suaveolens*), la posidonie de Méditerranée (*Posidonia oceanica*) ainsi que l'algue marine verte du genre *Ulva*.

Leur collecte a été effectuée en mai 2011 dans différentes localités ; dans la wilaya de Médéa dans les communes de Teniet el hadjer, Talaich, Tamezguida et M'sallah respectivement *Salvia officinalis*, *Urtica dioica*, *Pistacia lentiscus* et *Rosmarinus Officinalis*, dans la wilaya de Blida à Boufarik *Equisetum arvense*, *Mentha suaveolens* et *Carya illinoensis* et dans la wilaya de Tipaza au bord de la plage des Cornes d'Argent (C.E.T) *Posidonia oceanica* et les algues vertes du genre *Ulva*. Les données relatives aux échantillons de plantes et d'algues récoltés ont été résumées dans le tableau suivant.

Tableau 4. Données sur les espèces végétales et algues macroscopiques testées

Données sur les végétaux testés	Illustrations
<p>Nom commun : Ortie dioïque Nom latin : <i>Urtica dioica</i> L. Partie utilisée : feuilles Lieu de récolte : Talaich (wilaya de Médéa)</p>	 <p>Figure 8. Ortie dioïque</p>
<p>Nom commun : Prêle Nom latin : <i>Equisetum arvense</i> L. Partie utilisée : tiges feuillues Lieu de récolte : SRPV de Boufarik (wilaya de Blida)</p>	 <p>Figure 9. Prêle</p>
<p>Nom commun : Sauge Nom latin : <i>Salvia officinalis</i> Partie utilisée : feuilles Lieu de récolte : Teniet el hadjer (wilaya de Médéa)</p>	 <p>Figure 10. Sauge</p>
<p>Nom commun : pacanier Nom latin : <i>Carya illinoensis</i> Partie utilisée : feuilles Lieu de récolte : SRPV de Boufarik (wilaya de Blida)</p>	 <p>Figure 11. pacanier</p>

<p>Nom commun : Romarin Nom latin : <i>Rosmarinus Officinalis L.</i> Partie utilisée : feuilles Lieu de récolte : M'sallah (wilaya de Médéa)</p>	 <p>Figure 12. Romarin</p>
<p>Nom commun : pistachier lentisque Nom latin : <i>Pistacia lentiscus L.</i> Partie utilisée : feuilles Lieu de récolte : Tamezguida (wilaya de Médéa)</p>	 <p>Figure 13. pistachier lentisque</p>
<p>Nom commun : menthe odorante Nom latin : <i>Mentha suaveolens</i> Partie utilisée : feuilles Lieu de récolte : Boufarik (wilaya de Blida)</p>	 <p>Figure 14. menthe odorante</p>
<p>Nom commun : Posidonie Nom latin : <i>Posidonia oceanica</i> Partie utilisée : feuilles Lieu de récolte : plage des Cornes d'Argent-C.E.T (wilaya de Tipaza).</p>	 <p>Figure 15. Posidonie</p>
<p>Nom commun : laitue de mer ou ulve Nom latin : <i>Ulva sp</i> Partie utilisée : Lames (thalle) Lieu de récolte : plage des Cornes d'Argent-C.E.T (wilaya de Tipaza).</p>	 <p>Figure 16. Ulve</p>

Après la récolte, le matériel végétal a été nettoyé avec de l'eau courante pour le débarrasser des débris de sol ; les plantes marines ont également subi plusieurs rinçages successifs pour éliminer le sel, puis le tout a été mis à sécher à l'abri de la lumière, à une température ambiante et à l'air libre.

2.1.2 Matériel fongique

Trois isolats fongiques purifiés, S1 de type sexuel A1, S2 et S3 de type sexuel A2 de *Phytophthora infestans*, ont été sélectionnés pour notre étude. Ces derniers ont été prélevés à partir de zones productrices de la pomme de terre, provenant respectivement de trois localités différentes : El abadia (wilaya de Ain Defla), Bourkika (wilaya de Tipaza) et El attaf (wilaya de Ain Defla) et ils ont été entretenus par repiquage sur milieu à base de petits pois agar (composition voir annexe) et incubés à 18°C pendant 20 jours (Hammi, 2003).

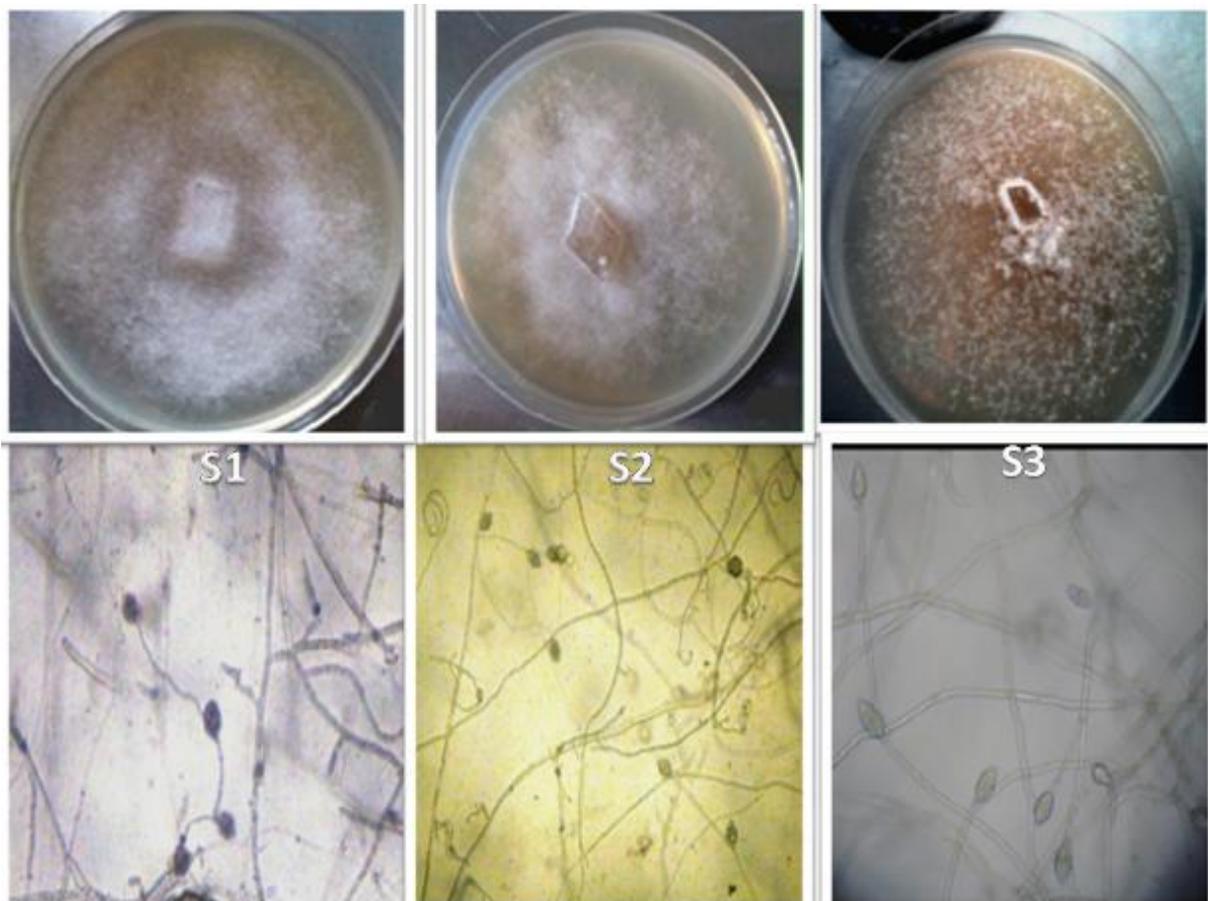


Figure 17. Aspect cultural et morphologie (microscopique) des trois isolats de *Phytophthora infestans* (Gr x 125)

2.2 Méthodologie

2.2.1 Préparation des poudres et des extraits aqueux

Après séchage à l'air libre, les plantes et les algues ont été broyées à l'aide d'un mixeur jusqu'à obtention de poudres, pesées et récupérées dans des boîtes propres portant le nom de chacune et conservées à l'abri de la lumière et de l'humidité pour des analyses ultérieures.

Les extraits aqueux ont été obtenus par décoction de 100 g de chacune des espèces végétales et algales sélectionnées dans 1L d'eau distillée. Cette opération a été réalisée au niveau de l'autoclave à 100°C pendant 30 minutes dans des fioles bien fermées et cela, afin d'éviter toute forme de contamination provenant des plantes. L'extrait aqueux est récupéré par filtration sur papier Wattman stérile sous hotte aspirante. Le filtrat obtenu a été récupéré dans des flacons en verres stériles hermétiquement fermés et conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'à son utilisation à l'état pur et aux concentrations suivantes : 5, 10 et 20%.



Figure 18. Préparations des extraits aqueux

2.2.2 Etude du pouvoir antifongique *in vitro* des extraits aqueux des végétaux testés à l'égard de *Phytophthora infestans*

Le pouvoir antifongique *in vitro* a été basé sur l'inhibition de la croissance mycélienne, de la sporulation et de la germination des trois isolats de *P. infestans*, ainsi que leur survie *in vitro* et *in vivo*.

2.2.2. 1 Inhibition de la croissance mycélienne

Quatre concentrations (5, 10, 20, 100%) de chaque extrait aqueux correspondant respectivement aux doses D1, D2, D3 et D4 ont été retenues dans cette étude.

L'inhibition de la croissance mycélienne a été réalisée suivant la méthode de contact direct, décrite par Mishra et Dubey (1994). Les procédures microbiologiques et les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des extraits aqueux ont été déterminées selon la méthode Paranagama et *al.* (2003).

Pour chaque dilution 5 ml d'extrait de plante est versé dans des boîtes de Pétri de même diamètre (90 mm) à l'aide de micropipettes. Le milieu PPA (composition en annexes) maintenu en surfusion à 45°C est ensuite coulé dans les boîtes contenant les extraits. Ces dernières sont légèrement agitées pour homogénéiser le milieu. En ce qui concerne les témoins, l'extrait est remplacé par l'eau distillée stérile. Chaque concentration sera répétée cinq fois pour chaque isolat phytopathogène.

Ainsi, à l'aide de pipettes Pasteur stériles, un disque d'inoculum de 5 mm de diamètre de chaque isolat est prélevé séparément puis déposé au centre des boîtes de pétri. Ces dernières seront bien fermées et entourées d'un parafilm. L'incubation des boîtes ainsi préparées se fait dans l'étuve réglée à la température de 18°C pour évaluer la croissance mycélienne. Cette dernière a été estimée quotidiennement, pendant une durée d'incubation de 15 jours, en calculant la moyenne des deux diamètres mesurés sur deux axes perpendiculaires tracés au revers des boîtes de culture.

La concentration minimale inhibitrice de la croissance mycélienne (CMI) a été déterminée pour chaque extrait aqueux et pour chaque isolat.

D'autre part, le taux d'inhibition de la croissance mycélienne a été déterminé pour chaque isolat de *P. infestans* selon la formule décrite par Sy (1976) et Rollan et *al.*(1999) in Ibarra-Medina et *al.* (2010) :

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

- I : Taux d'inhibition de la croissance en %.
- DT : Diamètre de la croissance mycélienne du champignon témoin (mm).
- Dt : Diamètre de la croissance mycélienne du champignon traité (mm).

2.2.2.2 Mycoparasitisme

Pour comprendre et pouvoir définir l'effet des extraits étudiés sur les isolats responsables du mildiou, une description structurale a été réalisée après 15 jours d'incubation, par observation directe des cultures traitées et témoins des trois isolats de *P. infestans* sous microscope photonique au grossissement (X125).

2.2.2.3 Inhibition de la sporulation et de la germination

Après incubation de 21 jours à la température de 18°C des cultures d'isolats fongiques développées sur milieux traités par les extraits aqueux à différentes concentrations et ceux des témoins, 10 ml d'eau distillée stérile ont été versés dans chaque boîte de culture qui ont été raclées à l'aide d'une pipette pasteur stérile pour récupérer les suspensions sporangiales dans des tubes à essai stérilisés. Ces derniers ont été soumis à l'agitation à l'aide d'un agitateur de tubes vortex.

Les suspensions sporangiales des trois isolats de *P. infestans* ainsi préparées ont fait l'objet de détermination de la concentration en sporanges et la concentration en sporanges germés par le biais d'une cellule de Malassez sous microscope optique.

L'inhibition de la sporulation est calculée selon la formule décrite par Hmouni et al. (1996) in Hibar et al. (2005) :

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

- IS : Taux d'inhibition de la sporulation en %.
- ST : Concentration en sporanges de l'inoculum témoin (sporangies/ml).
- St : Concentration en sporanges de l'inoculum traité (sporangies/ml).

D'autre part, le pourcentage d'inhibition de la germination IG est déterminé pour chaque isolat, en utilisant la formule décrite par Berber et al. (2009) :

$$IG(\%) = \frac{(GT - Gt)}{GT} \times 100$$

- IG : Taux d'inhibition de la germination en %.
- GT : Concentration en sporanges germés de l'inoculum témoin (nombre de sporanges germés/ml).
- Gt : Concentration en sporanges germés de l'inoculum traité (nombre de sporanges germés/ml).

2.2.3 Survie des isolats de *P. infestans* après traitements

Dans le but de confirmer l'effet fongistatique ou fongicide des extraits aqueux des végétaux et algues testés, la survie des isolats phytopathogènes de *P. infestans* soumis aux différents traitements à base de plantes et d'algues a été étudiée *in vitro* sur milieux de culture et *in vivo* sur feuilles détachées de la pomme de terre.

2.2.3.1 Survie *in vitro* des isolats de *P. infestans*

L'étude de la survie *in vitro* a été basée sur la technique modifiée de Mahanta *et al.* (2007), qui repose sur la reprise ou l'absence de croissance mycélienne de l'isolat inhibé par l'extrait, après ré-inoculation des explants sur milieu PPA frais dans les mêmes conditions précédentes d'incubation. Ainsi, dans chaque boîte de pétri, ont été déposés quatre explants d'isolat à raison de quatre répétitions, par extrait, par dilution et par isolat traité ainsi que pour les témoins. La lecture a été suivie quotidiennement et prolongée jusqu'à 7 jours.

Les concentrations inhibitrices fongicides (CIF) sont évaluées à la fin de l'expérience pour chaque extrait de la plante. La CIF est déterminée à partir de la plus petite concentration pour laquelle aucune croissance mycélienne et aucune reprise de l'explant n'a été observée sur le milieu de culture PPA au terme de 7 jours d'incubation (Paranagama *et al.*, 2003).

2.2.3.2 Survie *in vivo* des isolats de *P. infestans*

L'étude de la survie *in vivo* a été basée sur la méthode de Klarfeld *et al.* (2000). Des feuilles saines de la variété *Spunta* de la pomme de terre ayant un diamètre supérieur ou égal à 30 mm ont été choisies et récoltées à partir d'une parcelle indemne de mildiou située dans la région du littoral de la wilaya de Tipaza.

Ces dernières ont été découpées à l'aide d'un emporte-pièce en disques uniformes puis elles ont été lavées à l'eau du robinet ensuite désinfectées à l'hypochlorite de sodium à 2° pendant 3 minutes puis rincées dans 3 bains successifs d'eau distillée stérile.

Dans des boîtes transparentes en plastique ont été déposés respectivement du papier filtre stérile imbibé d'eau distillée stérile, du grillage en plastique à la taille des boîtes, des disques de feuilles détachées de pomme de terre, qui ont été placées en nombre de 5 par boîte et enfin les explants des isolats témoins et ceux préalablement traités en fonction des extraits aqueux de plantes aux différentes concentrations étudiées (Figure 19).



Figure 19. Etapes du test de survie *in vivo*.

La lecture des résultats a porté sur l'incidence de la maladie, représentée par le nombre de feuilles présentant des symptômes typiques du mildiou, ainsi que la sévérité de la maladie, représentée par l'expression des symptômes en termes de pourcentage de superficie infectée par le mildiou de la pomme de terre. Ainsi, ont été déterminés les pourcentages d'inhibition d'infection selon la formule proposée par Berber *et al.* (2009) :

$$Inf (\%) = \frac{(Inf T - Inf (t))}{Inf T} \times 100$$

- Inf : Taux d'infection des feuilles en %.
- Inf T : Taux d'infection des feuilles témoins positifs en %.
- Inf (t): Taux d'infection des feuilles traitées en %.

2.3 Analyse statistique

Afin de vérifier une éventuelle efficacité des préparations à base d'extraits aqueux des végétaux et d'algues vis-à-vis des isolats fongiques testés et de comparer les différents effets des traitements utilisés sur les différents paramètres biologiques de l'agent pathogène à savoir, la croissance mycélienne, la sporulation, la germination, la survie que se soit sur milieu de culture ou sur feuilles détachées de pomme de terre, les CMI et les CIF, tout en considérant les isolats fongiques étudiés, des analyses statistiques ont été effectuées au moyen du logiciel SYSTAT vers.12, en déterminant la variance à l'aide du GLM (General Linear Model), les différences ont été considérées comme significatives pour une $P < 0,05$. Les corrélations existantes entre les différents traitements, leurs concentrations et les paramètres biologiques étudiés ainsi que les isolats de *P. infestans* ont été mis en évidence par une analyse des composantes principales (ACP). L'interprétation de l'ACP se fait à partir de l'examen du cercle de corrélation et de la position du statut des variables sur les axes factoriels (Philippeau, 1989).

CHAPITRE : 3

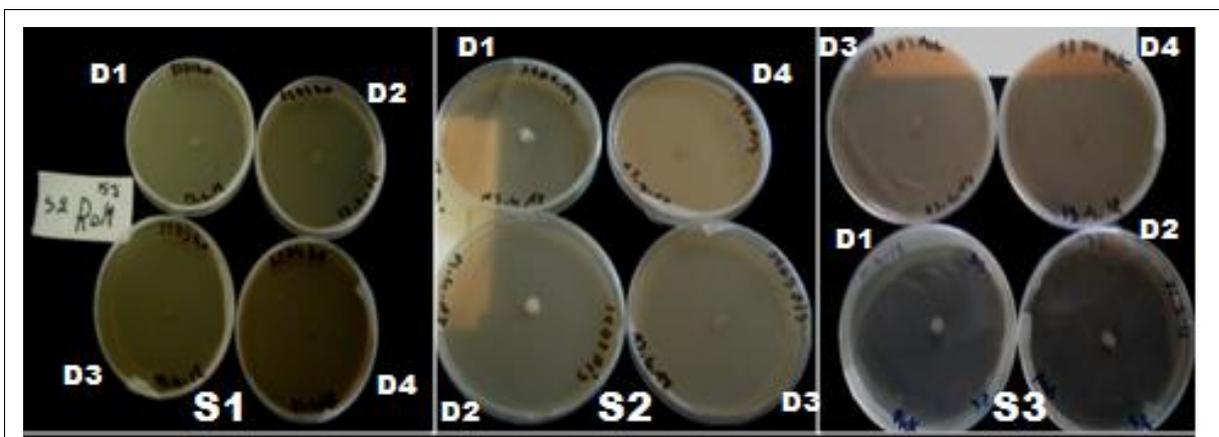
RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

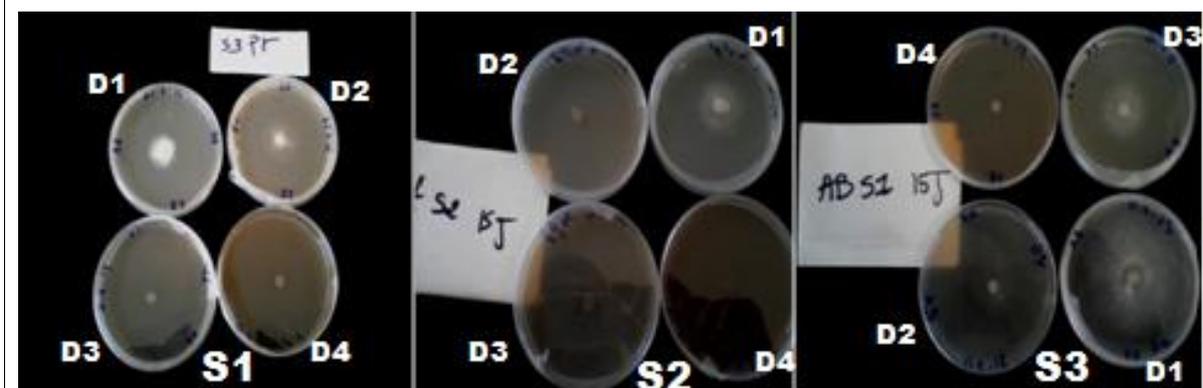
3.1.1 Evaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne

L'activité antifongique *in vitro* des neuf extraits aqueux testés sur les trois isolats fongiques de *P. infestans* nous a montré pour la majorité des plantes, une efficacité marquée par une inhibition importante de la croissance mycélienne.

Cette inhibition est très importante dans le cas des extraits du pacanier, de la menthe odorante, de la sauge, du pistachier lentisque et du romarin, elle est moyenne pour l'ensemble des extraits de la prêle, de la posidonie et de l'ortie, par contre les extraits de l'algue verte *Ulva* ont montré une très faible inhibition (Figure 20).



Traitements hautement efficaces : romarin, pistachier lentisque, sauge, pacanier et menthe odorante



Traitements moyennement efficaces : ortie, posidonie et prêle

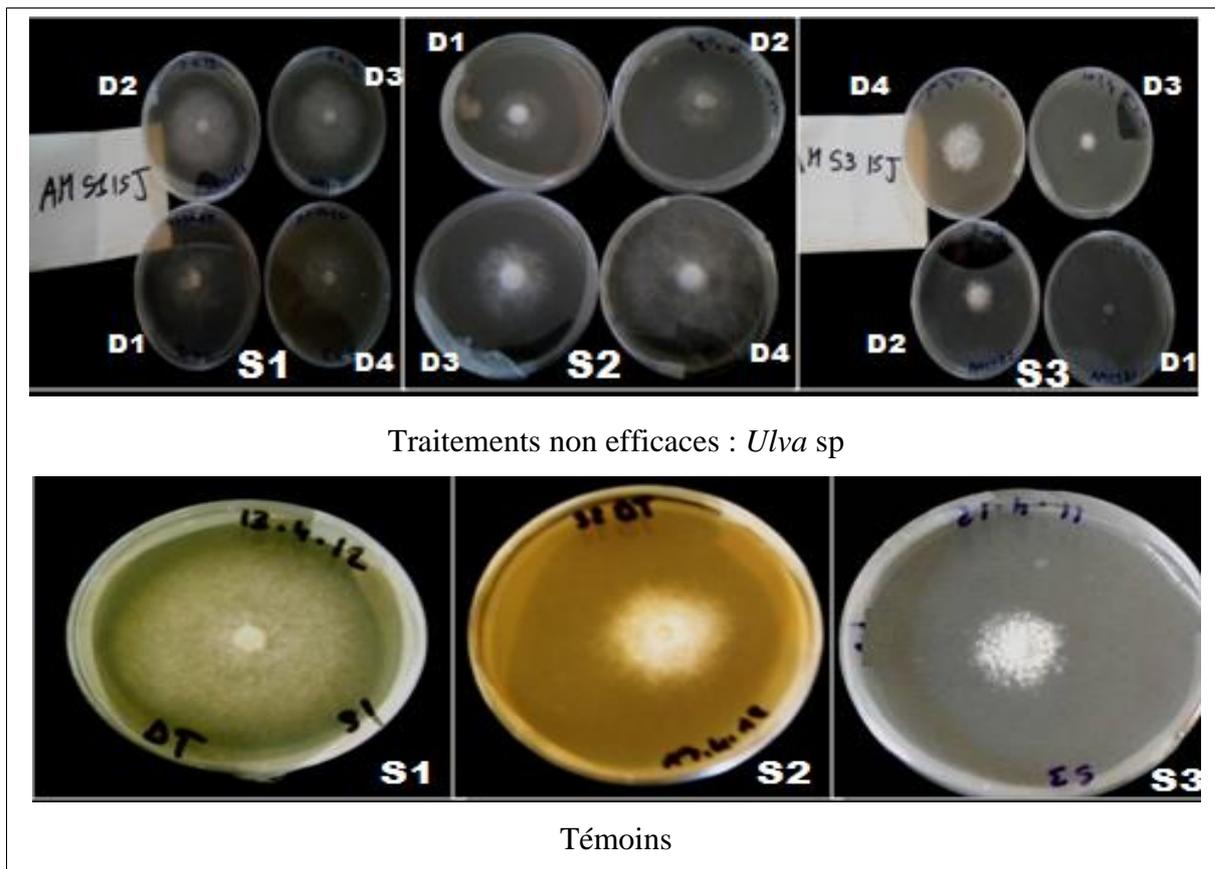


Figure 20. Impact des extraits de plantes sur la croissance mycélienne des isolats de *P. infestans*

L'analyse de la variance des pourcentages d'inhibition de la croissance mycélienne a montré une différence hautement significative entre les neuf extraits étudiés, ainsi que leurs concentrations, une différence non significative a été signalée par contre en ce qui concerne les trois souches étudiées (Tableau 5).

Cependant, en modèle GLM une variabilité a été approuvée entre les neuf extraits concernant les taux d'inhibition de la croissance mycélienne des trois souches de *P. infestans* ; d'où cinq extraits à savoir la sauge, le romarin, le pistachier lentisque, la menthe odorante et le pacanier ont révélé les taux d'inhibition les plus importants dépassant les 80% ; suivis par les extraits de la posidonie, de l'ortie et de la prêle avec des taux d'inhibition supérieurs à 50% ; enfin l'extrait d'*Ulva sp* avec un très faible taux d'inhibition avoisinant les 25% (Figure 21 A).

Par ailleurs, l'inhibition de la croissance mycélienne des trois isolats fongiques a évolué parallèlement avec la concentration, atteignant son maximum pour les extraits purs (Figure 21 B) ; sauf pour l'algue verte où le taux d'inhibition diminue en augmentant la concentration pour arriver à des valeurs nulles à négatives pour l'extrait pur.

En ce qui concerne les souches du phytopathogène, l'inhibition de la croissance mycélienne a été légèrement plus marquée sur l'isolat S3, cette dernière a été identique pour les isolats S1 et S2, mais les trois souches ont montré une sensibilité importante vis-à-vis des traitements étudiés (Figure 21 C).

Tableau 5. Analyse de la variance des taux d'inhibition de la croissance mycélienne des trois isolats étudiés après traitement par les neuf extraits de plantes *in vitro*

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Extraits	27035.184	8	3379.398	11.876	0.000
Doses	2960.833	3	986.944	3.486	0.019
Souches	309.662	2	154.831	0.544	0.582

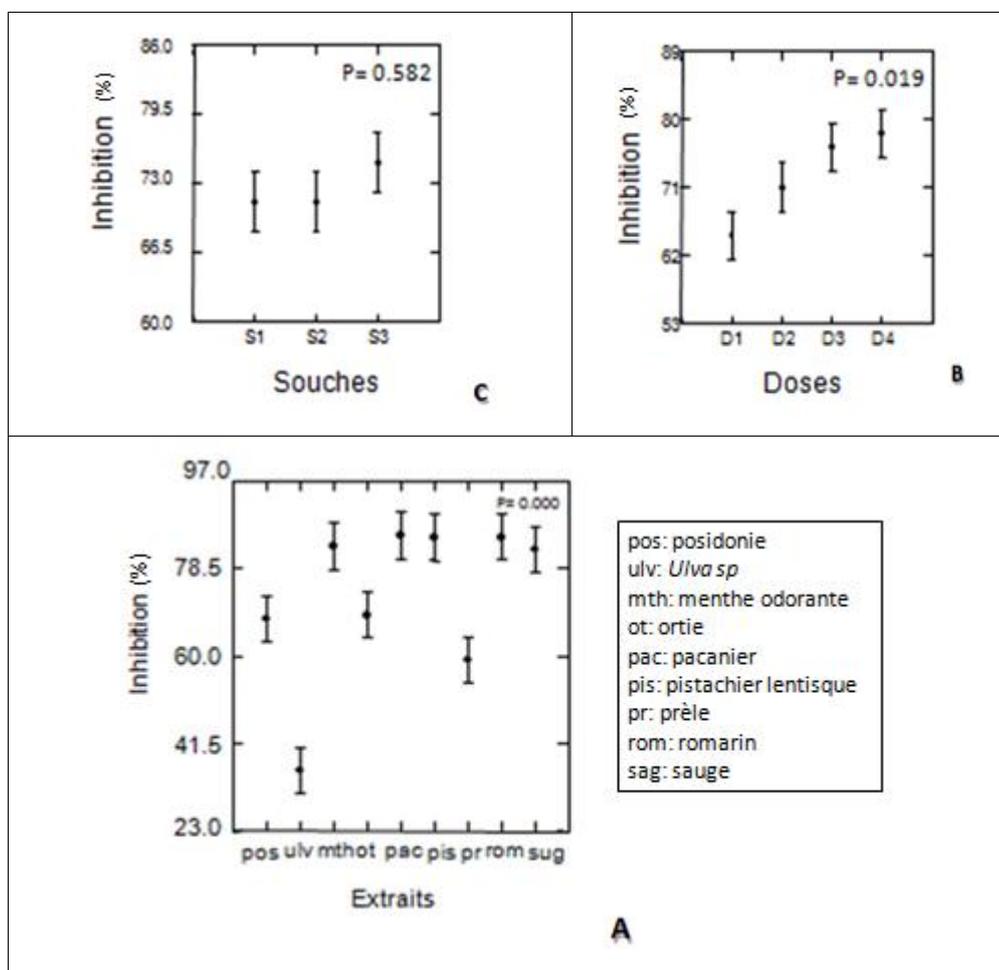


Figure 21. Inhibition de la croissance mycélienne de *P. infestans* traités par les extraits aqueux des plantes et d'algue en modèle GLM selon la nature des extraits, leurs concentrations et les souches étudiées

3.1.1.1 Evaluation de la concentration moyenne inhibitrice (CMI)

La CMI est déterminée à partir de la plus petite concentration pour laquelle aucune croissance mycélienne n'a été observée au terme de 15 jours d'incubation pour l'ensemble des extraits sauf pour l'algue verte qui n'a vraiment pas eu un effet inhibiteur sur la croissance du champignon, pour cela, une analyse de la variance des CMI a été réalisée, elle a montré une différence significative entre les différents extraits, contrairement aux trois souches étudiées, où la différence n'est pas significative (Tableau 6).

Tableau 6. Analyse de la variance des CMI des différents extraits étudiés.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Extraits	14357.292	7	2051.042	2.882	0.044
Souches	4618.750	2	2309.375	3.245	0.070

Par ailleurs, en GLM, une variabilité des CMI a été révélée entre les extraits des huit plantes, où on a constaté que les extraits de la sauge, du romarin, du pistachier lentisque, de la menthe odorante et du pacanier inhibent la croissance mycélienne du phytopathogène à de faibles concentrations qui avoisinent les 5% ; suivis par les extraits de la posidonie et de l'ortie avec des CMI supérieures à 30% et en dernier l'extrait de la prêle avec une concentration minimale inhibitrice supérieure à 75% (Figure 22 A).

Par contre, pour les isolats de *P. infestans*, la concentration minimale inhibitrice a été plus élevée pour la souche S1 (avoisinant les 40%) que pour les deux autres souches, où la CMI de la S2 est presque 20% alors que celle de la S3 a été la plus faible (de l'ordre de 10%) (Figure 22 B).

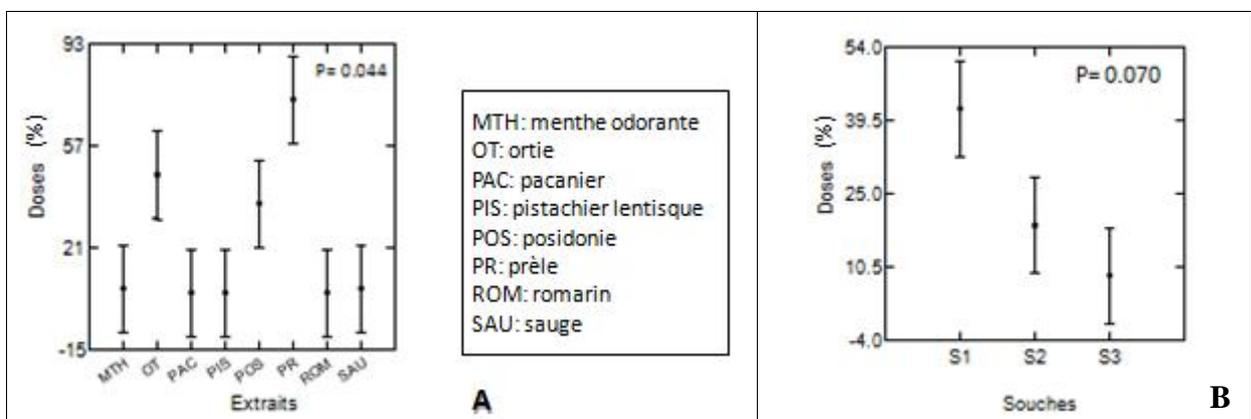


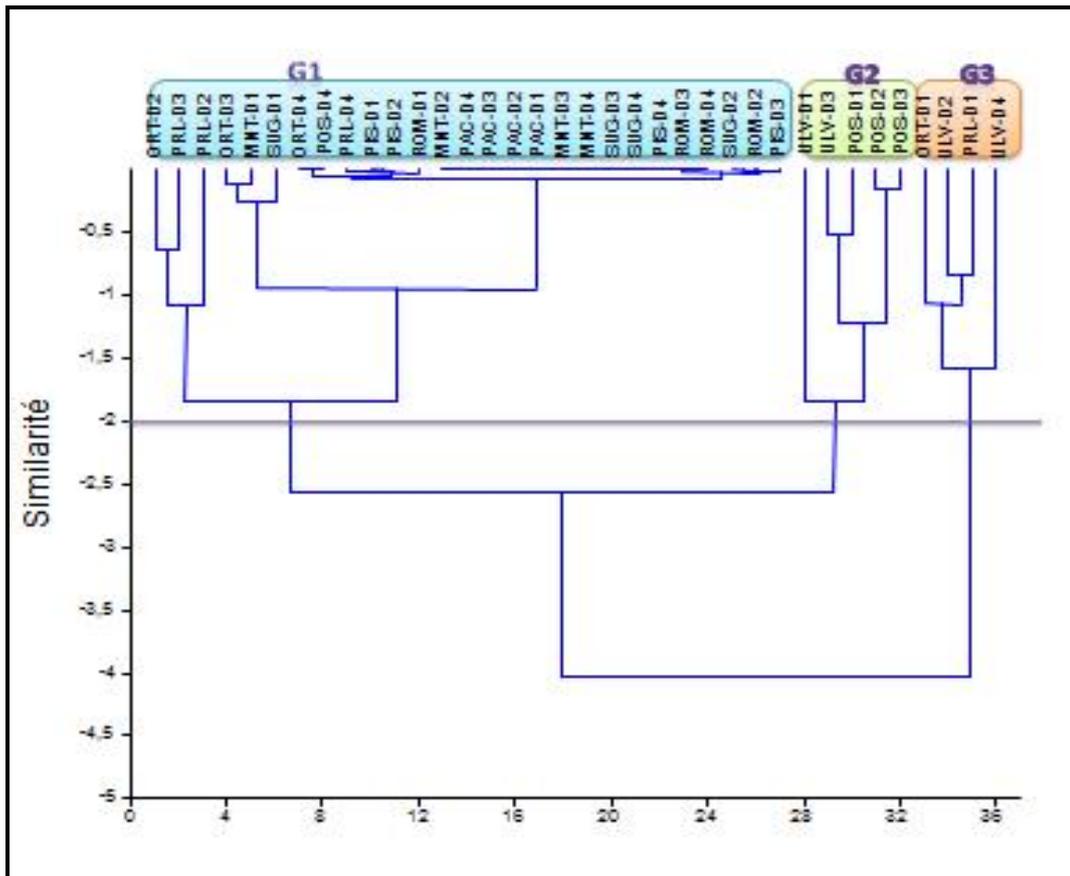
Figure 22 : Concentration minimale inhibitrice des extraits aqueux des plantes en modèle GLM selon la nature des extraits et des souches étudiés

Une analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour effectuer un traitement global des résultats. Cette dernière a été effectuée sur les neuf extraits bruts ainsi que leurs concentrations (5%, 10% et 20%) à l'égard des trois isolats fongiques. L'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes.

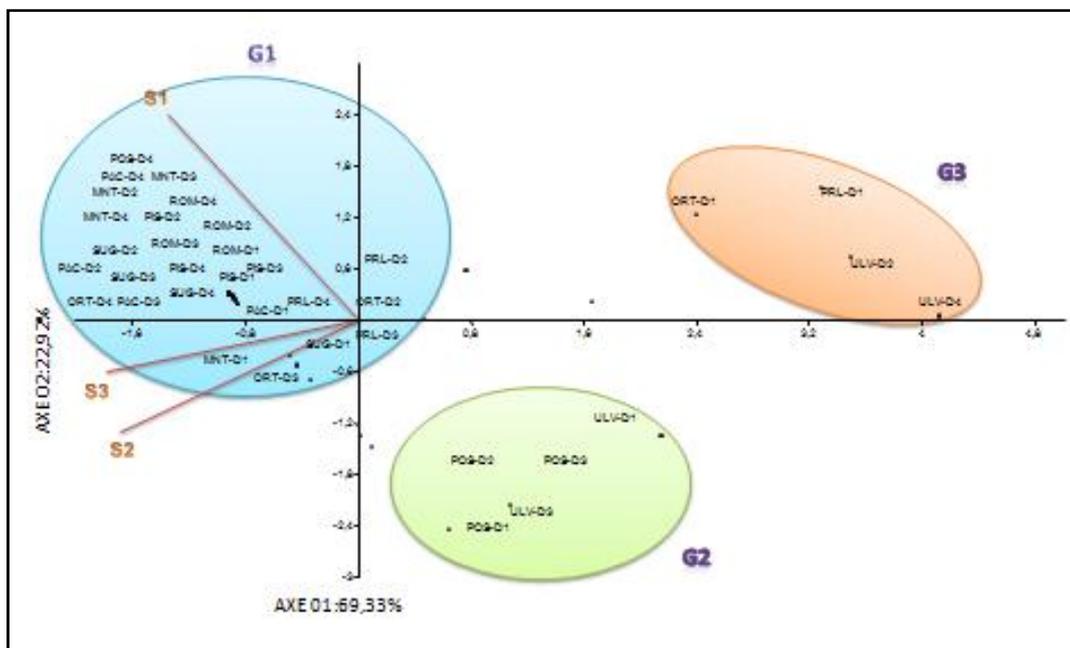
Axe 1 représenté par la catégorie de données présentant de fortes contributions (69.33%) et l'axe 2 représenté par les données de faibles contributions (22.92%) (Figure23B).

En effet, les calculs de la distance euclidienne sur la base d'une similarité de -2 nous ont montré qu'il y a présence de 3 groupes (Figure23A) :

- Groupe 1 : celui des extraits du pacanier, de la menthe odorante, du pistachier lentisque, de la sauge et du romarin avec toutes leurs concentrations, en plus des extraits de la prèle et de l'ortie avec les concentrations (10, 20, 100%) et l'extrait de la posidonie pur. Ce groupe est corrélé positivement avec les trois isolats de *P. infestans*. Il est défini par les extraits à forte action antifongique, induisant une inhibition supérieure à 75%.
- Groupe 2 : il comprend en amont l'extrait de la posidonie avec les trois concentrations (5, 10 et 20%) suivi par l'extrait d'*Ulva* sp avec les concentrations (5 et 20%), ce groupe est plus ou moins efficace sur S2, S3 et peu efficace sur S1, induisant une inhibition qui avoisine les 50%.
- Groupe 3 : Il correspond aux extraits dilués de la prèle et de l'ortie à 95% et l'extrait de l'algue verte aux concentrations 10 et 100%, ce groupe est très peu efficace sur les trois isolats à la fois plus ou moins rapproché de la S1.



A



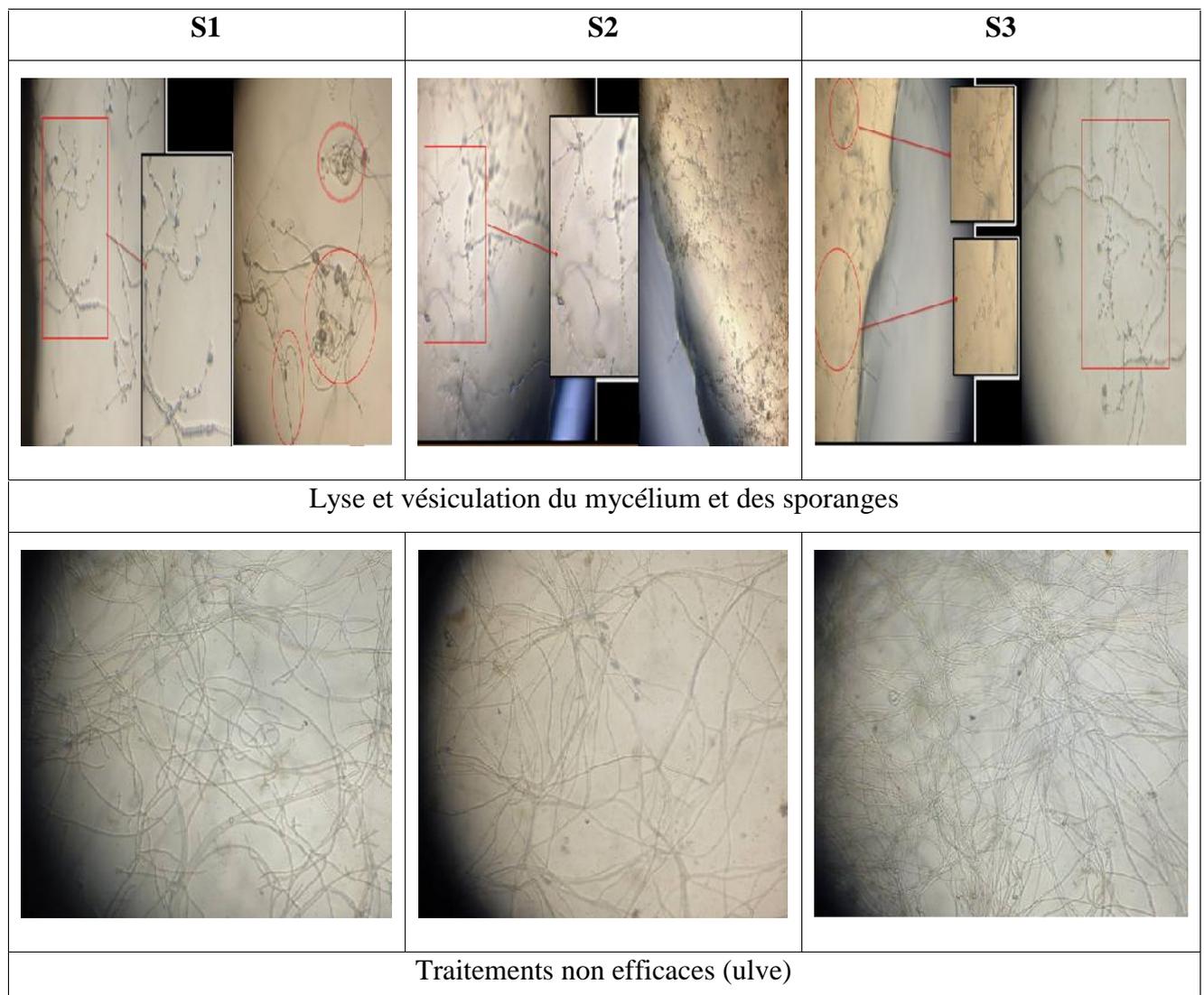
B

Figure 23. Analyse en composante principale (ACP) et classification hiérarchique des neuf extraits de plantes selon les taux d'inhibition de la croissance mycélienne des isolats de *P. infestans*.

3.1.2 Mycoparasitisme

L'inhibition de la croissance mycélienne des souches S1, S2 et S3 de *P. infestans* peut être résumée par l'effet des extraits aqueux sur le champignon représenté par la lyse et la vésiculation du mycélium présentant parfois un diamètre plus réduit, ce qui induit à des cultures de faibles croissances, ainsi que des déformations des sporanges qui apparaissent parfois vides ce qui réduit les taux de la sporulation et de la germination et par conséquent la croissance mycélienne (Figure 24).

Mise à part l'ulve, l'ensemble des extraits étudiés ont montré la lyse et la vésiculation du mycélium à partir de la concentration 5% pour les extraits de la sauge, du romarin, du pacanier, du pistachier lentisque, de la menthe odorante et de la posidonie de la méditerranée et à partir des concentrations 20 et 100% pour les extraits de l'ortie et de la prêle.



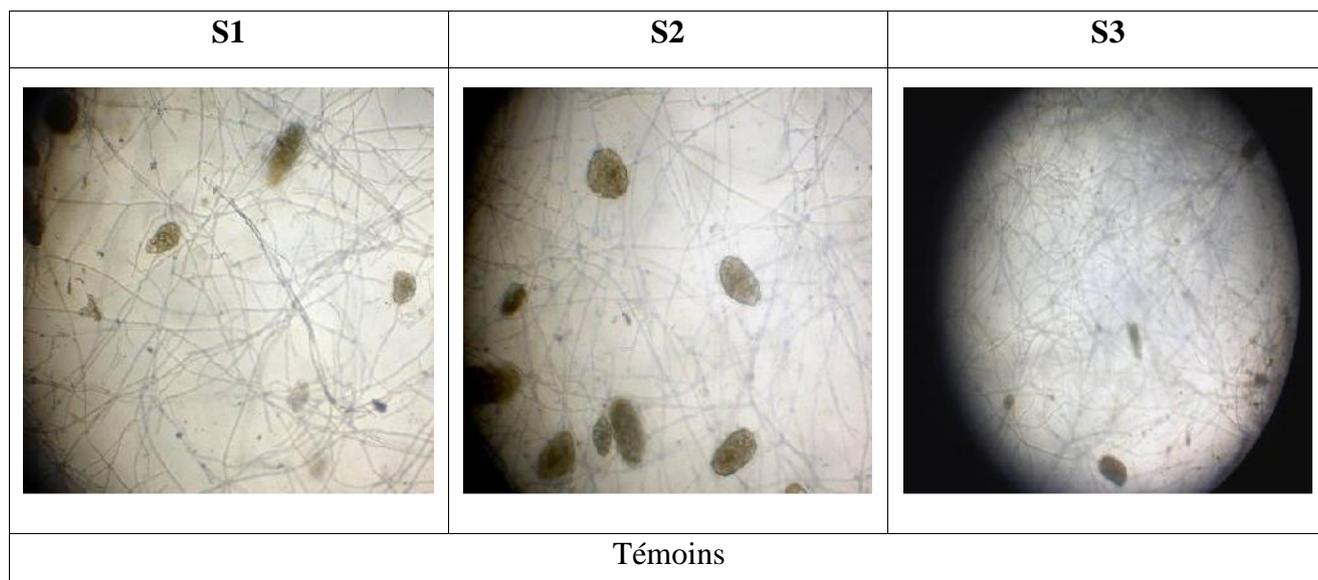


Figure 24. Effet des extraits aqueux des plantes sur le mycélium des souches étudiées

3.1.3 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la sporulation de *P. infestans*

La sporulation des trois isolats étudiés a été très affectée par les extraits des plantes, sauf pour ceux d'*Ulva* sp et ceux de la posidonie, de la prêle et de l'ortie aux concentrations 5 et 10% (Figure 25).



Figure 25. Effet des différents extraits sur la sporulation des isolats de *P. infestans*

L'analyse de la variance des pourcentages d'inhibition de la sporulation a montré qu'il y a des différences hautement significatives entre les différents extraits et les trois souches du phytopathogène, par contre cette dernière a été non significative en ce qui concerne les quatre concentrations utilisées (Tableau 7).

Ainsi, en GLM, une variabilité des taux d'inhibition de la sporulation a été mise en évidence entre les extraits des plantes, où on a remarqué que l'extrait *d'Ulva* sp présente un taux d'inhibition très faible avoisinant les 30%, alors que l'extrait de la prèle a montré un taux moyen de 55%. Cependant le reste des extraits a présenté des taux très élevés supérieurs à 90% (Figure 26 A). Cette inhibition a donc évolué en fonction de la concentration mais devient stable à partir de la concentration 20% (Figure 26 B).

Par ailleurs, S2 et S3 de *P. infestans* ont été très affectés par les différents traitements (90%), alors que l'isolat S1 a enregistré des taux avoisinant les 80% (Figure 26 C).

Tableau 7. Analyse de la variance de la sporulation des trois souches de *P. infestans* traitées par les extraits de plantes étudiées *in vitro*.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Extraits	51037.611	8	6379.701	15.230	0.000
Doses	1055.935	3	351.978	0.840	0.475
Souches	3339.581	2	1669.791	3.986	0.022

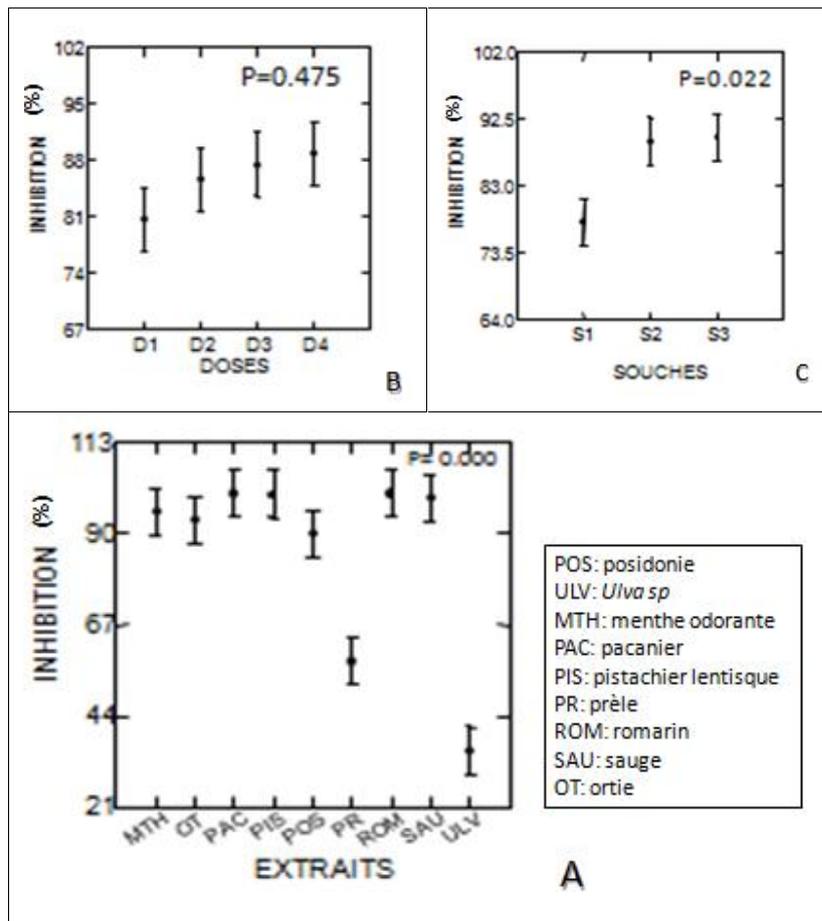


Figure 26. Taux d'inhibition de la sporulation des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits, leurs doses et les souches étudiées

En analyse en Composantes Principales (ACP), l'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes, l'axe1 (74.084 %) et l'axe2 (17.581%) (Figure 27B).

Les calculs de la distance euclidienne sur la base d'une similarité de -4 ont montré la présence de 2 groupes (Figure27).

- Groupe 1 : les extraits de l'algue verte avec trois doses (D2, D3 et D4) et la dose D1 de la prêle, ce groupe a une très faible efficacité sur la sporulation des trois isolats de *P. infestans*.
- Groupe 2 : il regroupe le reste des extraits et des doses, ces derniers ont eu des taux très élevés d'inhibition de la sporulation des trois souches.

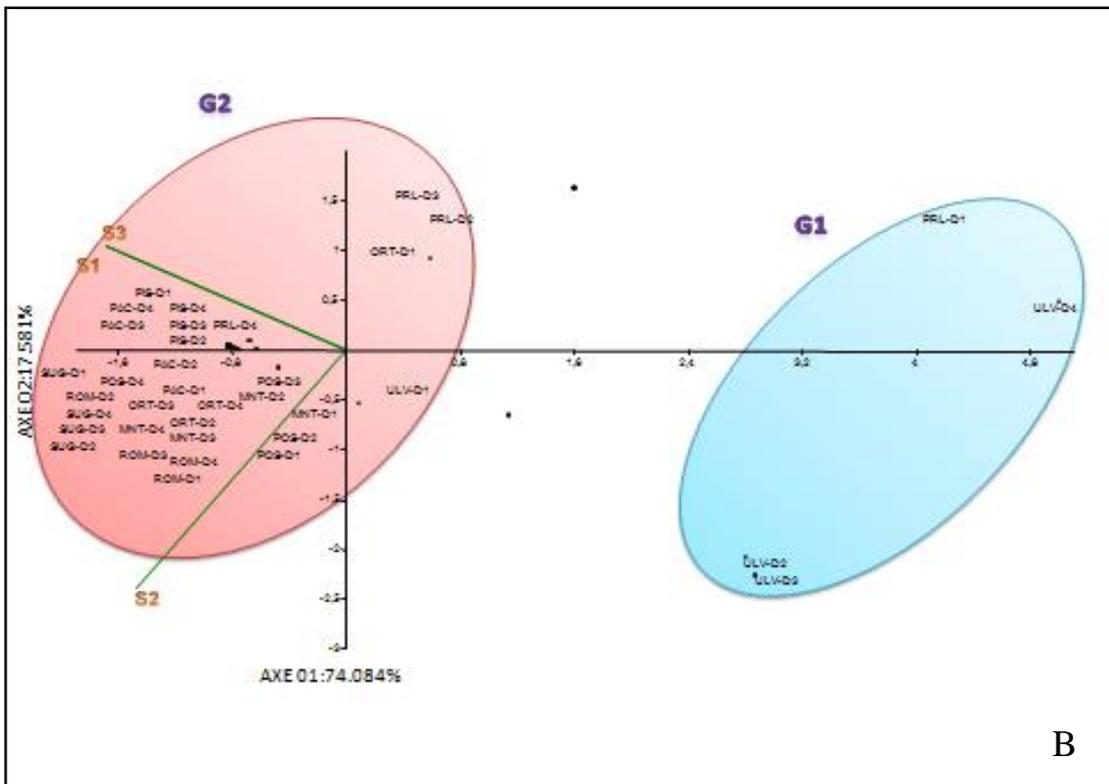
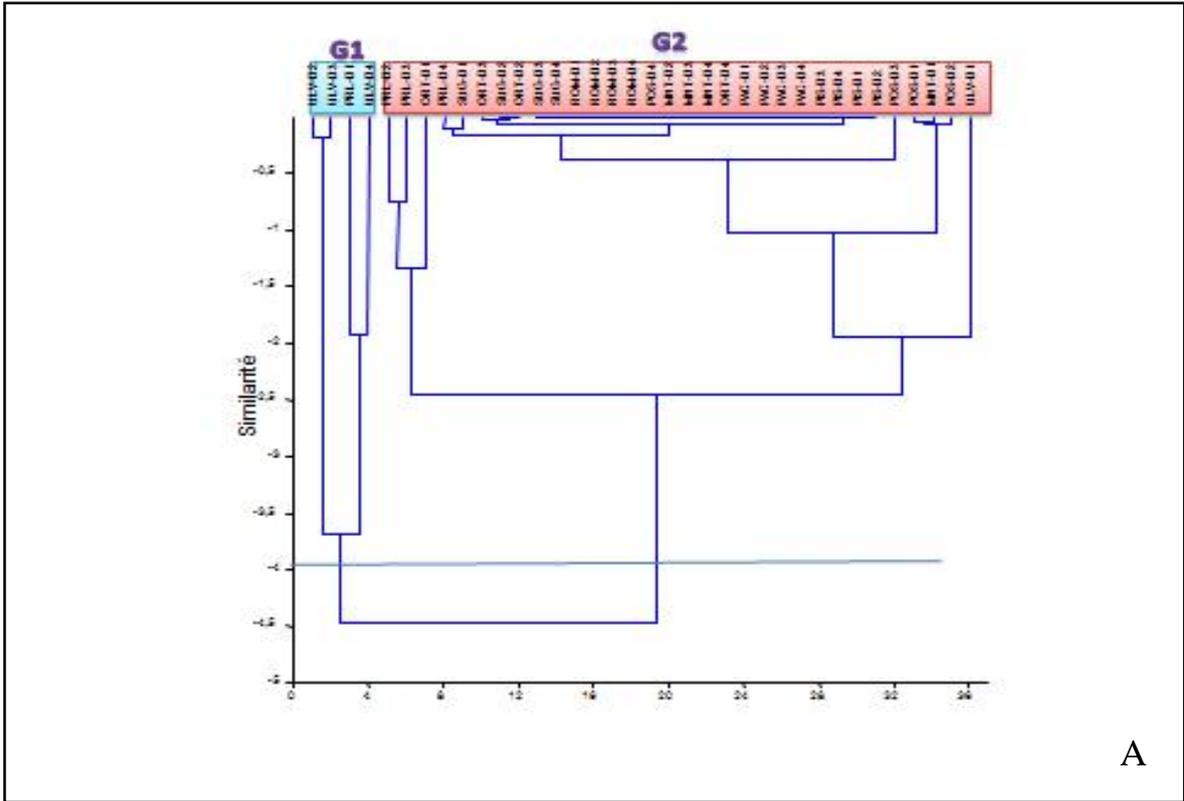


Figure 27. Classification hiérarchique et analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la sporulation en fonction des extraits, des doses et des souches.

3.1.4 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la germination de *P. infestans*

Comme pour la sporulation, on a remarqué une variabilité de l'inhibition de la germination des trois isolats, la majorité des extraits qui a un faible effet sur la sporulation, n'a eu aucun effet sur la germination du phytopathogène (Figure 28).

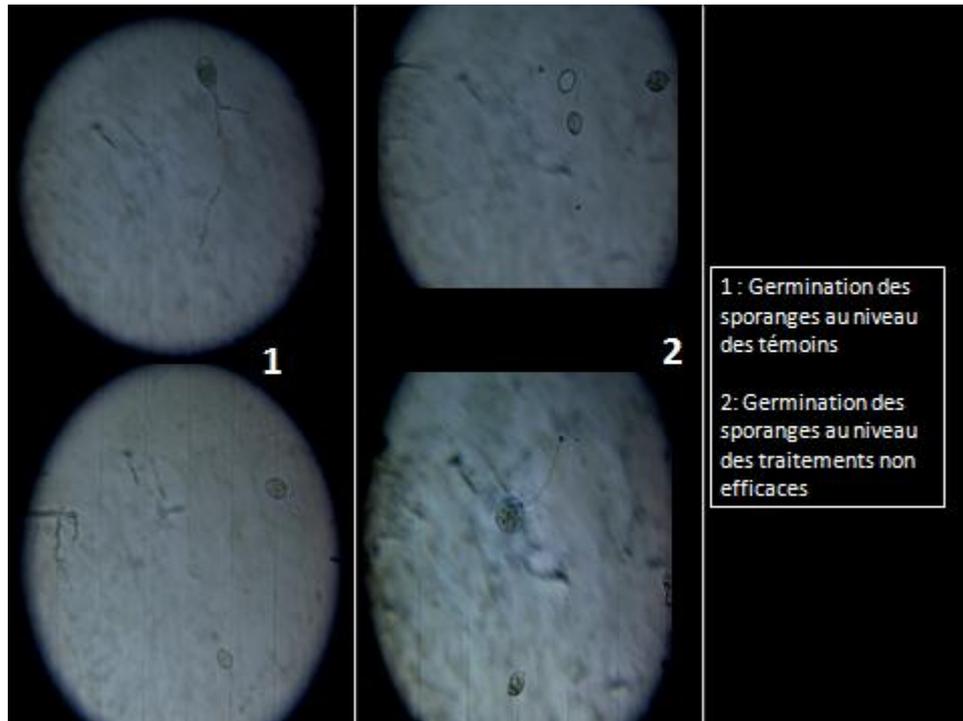


Figure 28. Germination des sporanges des isolats de *P. infestans* chez les témoins et les traitements non efficaces

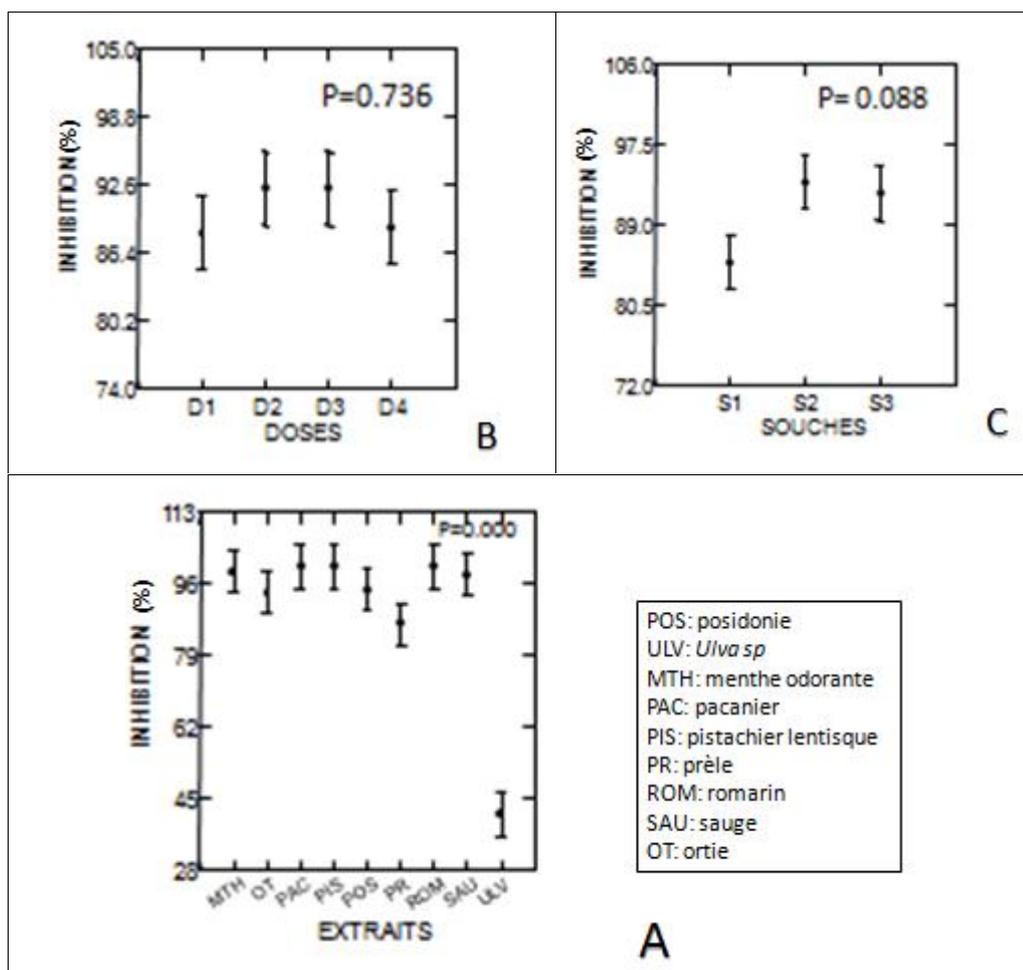
L'analyse de la variance des taux d'inhibition de la germination des isolats de *P. infestans* après le traitement par les différents extraits, a montré une différence hautement significative entre les neuf extraits et non significative entre les doses utilisées et ainsi que pour les isolats du pathogène (Tableau 8).

En modèle GLM, l'inhibition de la germination est plus importante pour S2 et S3 que S1 (Figure 29C). Par ailleurs, l'ensemble des extraits aqueux a montré une forte inhibition de la germination où les plus importants taux dépassent les 96%, sauf dans le cas des extraits de l'ulve qui ont des taux faibles avoisinant les 40% (Figure 29A).

Par contre une faible variabilité a été marquée par les doses qui ont eu toutes des taux d'inhibitions supérieurs à 86%, ces derniers sont plus élevés pour les doses D2 et D3 (Figure 29B).

Tableau 8. Analyse de la variance de la germination des trois souches de *P. infestans* traitées par les extraits de plantes étudiées *in vitro*.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Extraits	34450.870	8	4306.359	14.227	0.000
Doses	385.577	3	128.526	0.425	0.736
Souches	1508.511	2	754.255	2.492	0.088



Une analyse en composante principale a été effectuée sur les neuf purins et leurs concentrations ainsi que sur les trois isolats de *P. infestans* en considérant l'inhibition de la germination de ces derniers ; l'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes, l'axe1 (57.784%) et l'axe2 (34.282%) (Figure 31).

Les calculs de la distance euclidienne sur la base d'une similarité de -3 ont montré la présence de Trois groupes (Figure30, Figure31), qui sont définis comme suit :

- Groupe 1 : celui des extraits du pacanier, de la menthe odorante, du pistachier lentisque, de la sauge, de la posidonie et du romarin avec toutes leurs concentrations et des extraits de la prèle et de l'ortie avec les concentrations (10, 20 et 100%). Ce groupe est corrélé positivement avec les trois isolats de *P. infestans*. Il est défini par les extraits à très forte inhibition de la germination qui atteint les 100%.
- Groupe 2 : représenté par la concentration 5% de la prèle et de l'ortie, avec un taux d'inhibition moyen d'environ 70% sur les trois isolats de *P. infestans* ; ce groupe est corrélé plus avec les souches S2 et S3 qu'avec la souche S1.
- Groupe 3 : Il correspond aux extraits de la laitue de la mer avec ses quatre doses, ce groupe a été presque inefficace sur les trois isolats à la fois plus ou moins rapproché de la souche S2.

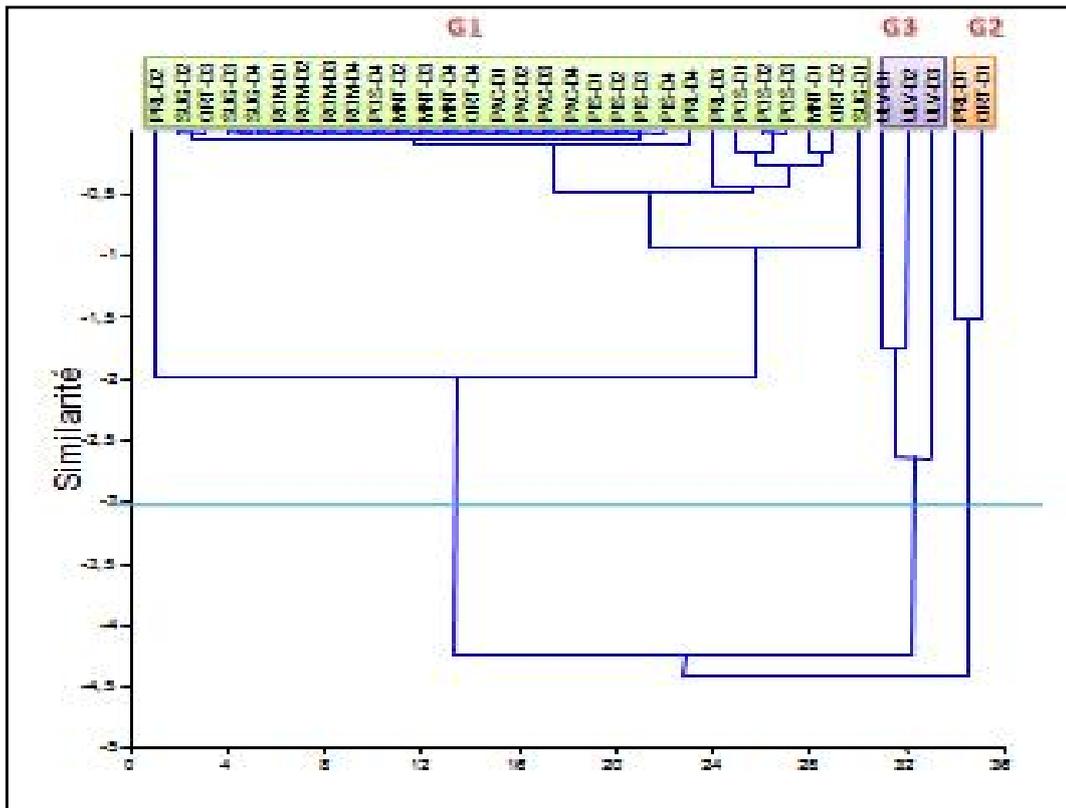


Figure 30. Classification hiérarchique des extraits de plantes selon les taux d'inhibition de la germination des isolats de *P. infestans* en fonction des extraits, des doses, et des souches

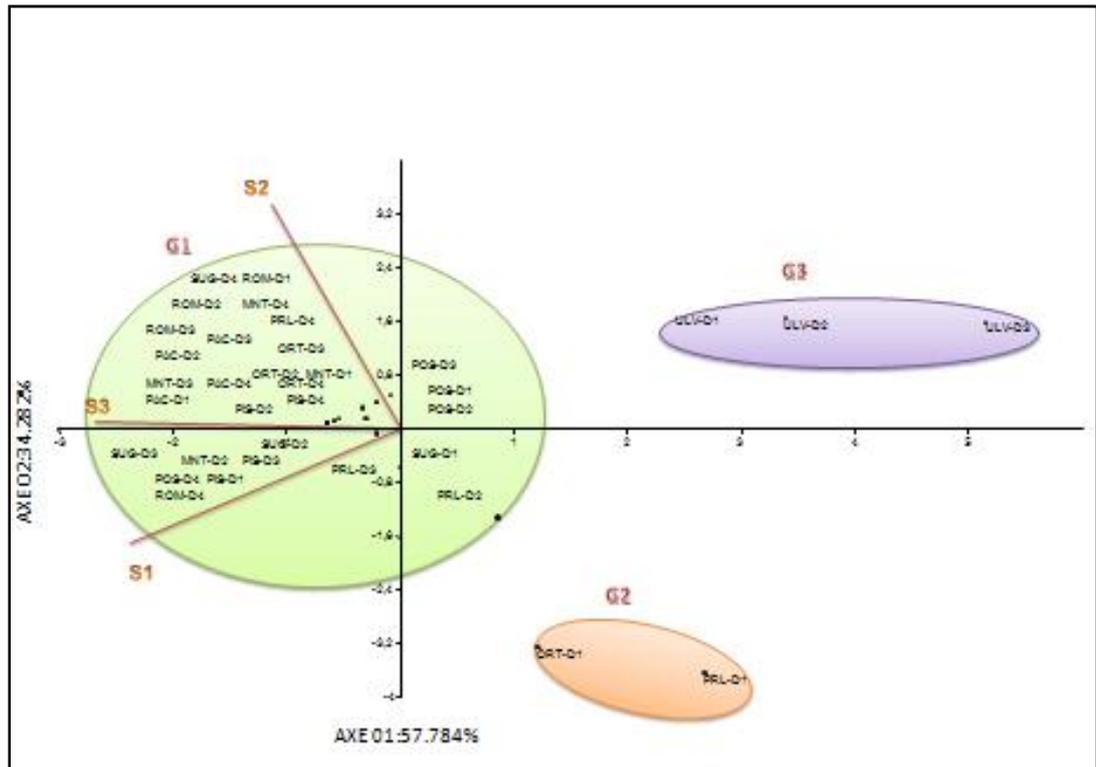


Figure 31. Analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la germination en fonction des extraits, des doses et des souches.

3.1.5 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la survie *in vitro* et *in vivo* de *P. infestans*

Les neuf extraits aqueux purs des plantes ou à différentes dilutions testés sur les trois isolats de *P. infestans* ont révélé une variabilité d'inhibition de la croissance mycélienne. Cependant, il est donc important de déterminer leur effet fongistatique ou fongicide. En effet, le transfert des explants mycéliens des isolats préalablement inhibés, sur milieu PPA frais n'a pas permis la reprise de la croissance de ces derniers pour certains extraits tels que la sauge, la menthe odorante, le pistachier lentisque et le pacanier alors que pour d'autres extraits et selon leurs concentrations on remarque une reprise plus ou moins importante de la croissance de l'agent phytopathogène (Figure 32).

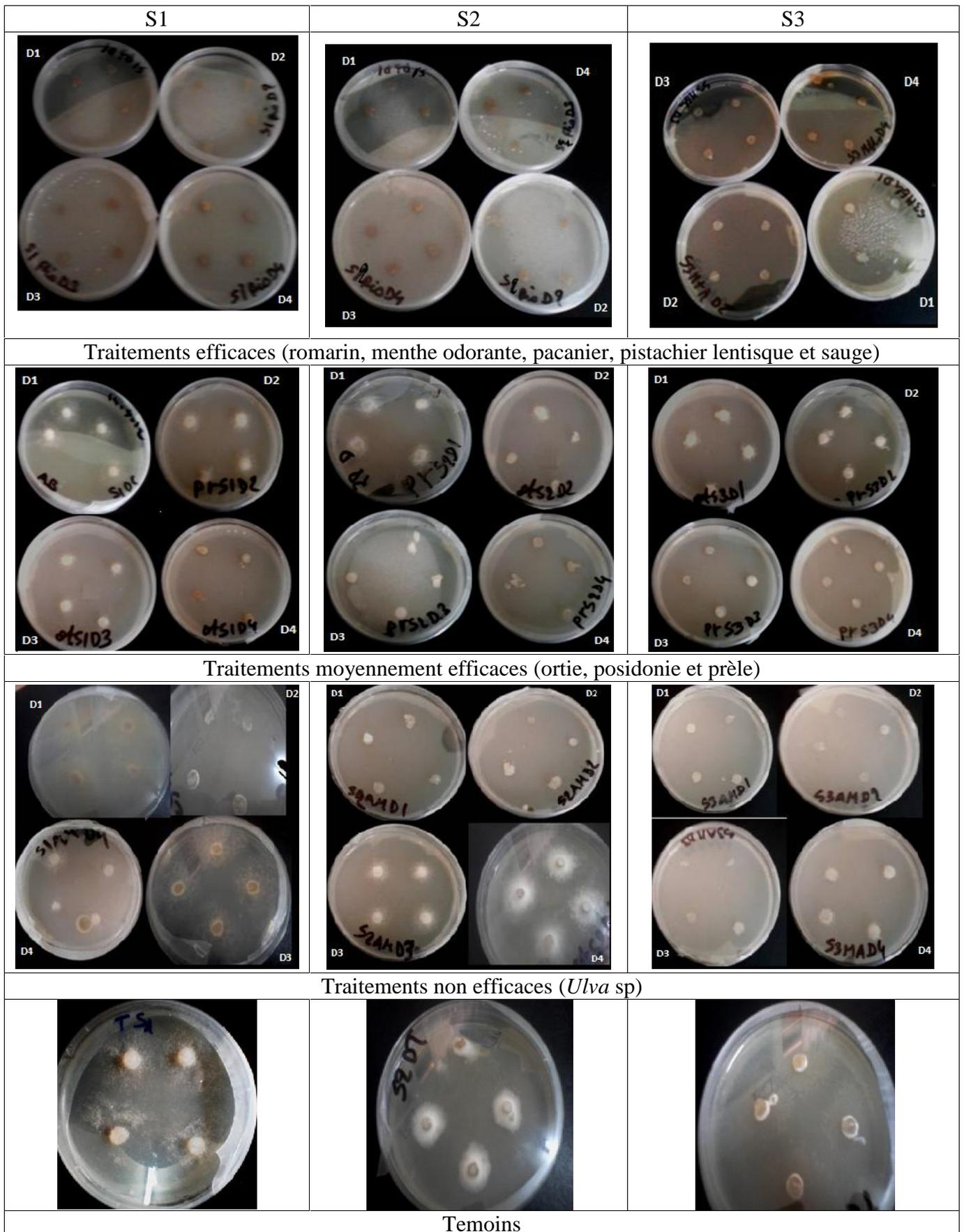
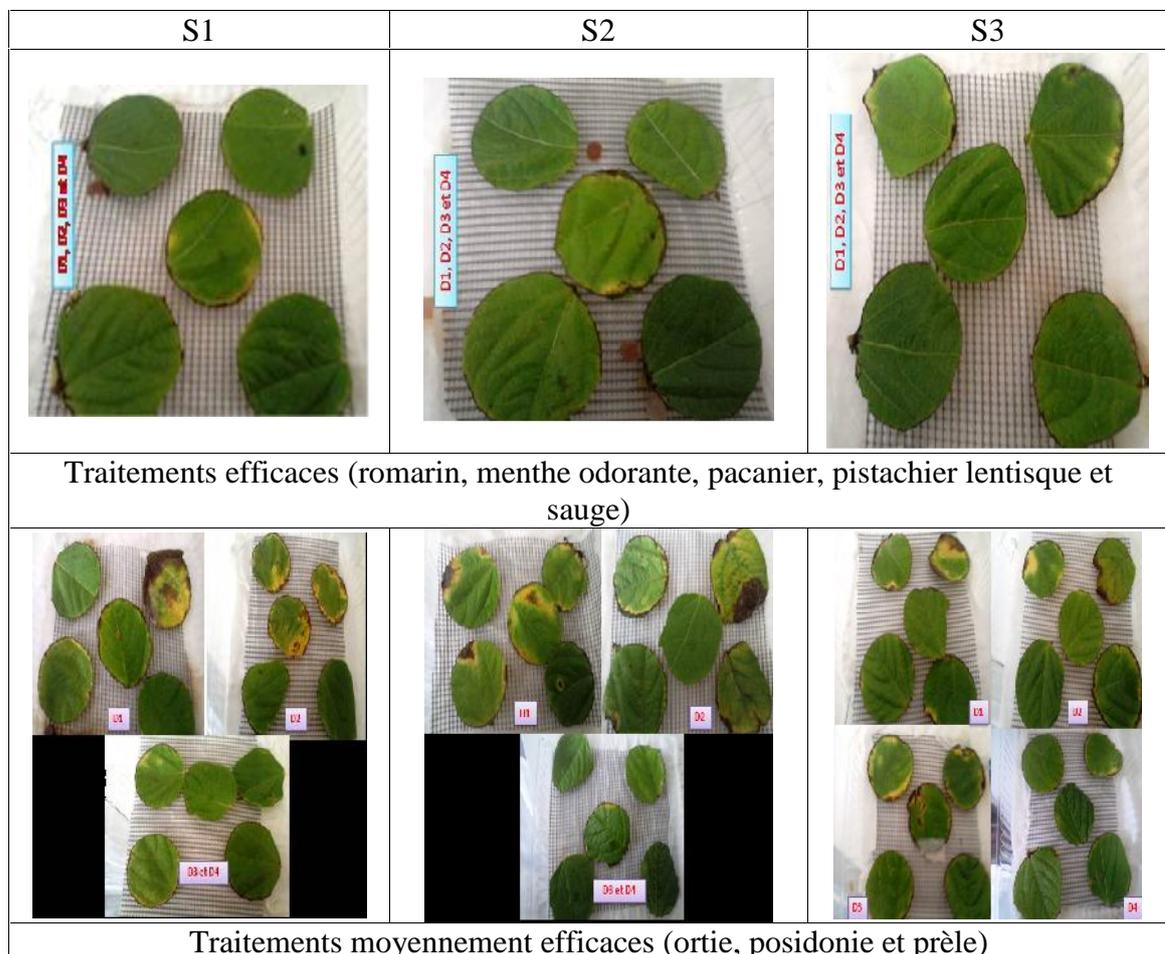


Figure 32. Survie des trois isolats de *P. infestans* sur milieu après application des traitements

L'effet des extraits aqueux des plantes sur les trois souches de *P. infestans* sur les feuilles détachées de la pomme de terre a été estimé par rapport au taux d'infection sur le disque foliaire exprimant des symptômes du mildiou, ainsi que le nombre des feuilles présentant des symptômes après inoculation par des explants du mildiou qui ont subi les différents traitements et cela par rapport aux témoins négatifs et positifs. On a pu déduire donc que les traitements à différentes concentrations ont montré une efficacité de certains extraits de plantes sur l'apparition ou non des symptômes et/ ou sur leur développement qui se manifestent par de légères nécroses, chloroses, accompagnées d'un léger brunissement (Figure 33).

Les traitements non efficaces ainsi que le témoin positif ont considérablement révélé des symptômes de la maladie par rapport aux témoins négatifs.



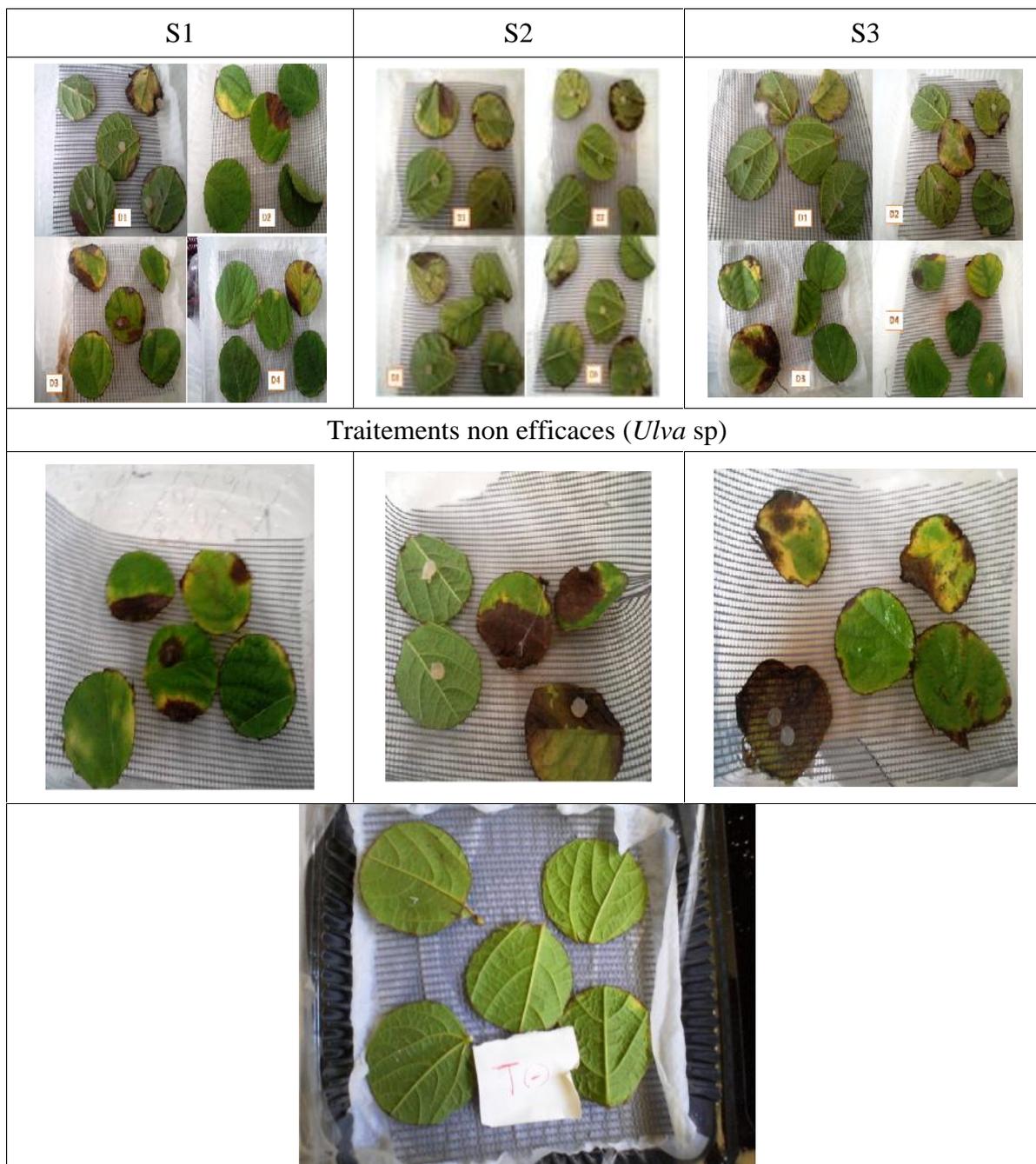


Figure 33. Survie des trois isolats de *P. infestans* sur feuilles détachées de la pomme de terre après application des traitements

En considérant la survie du phytopathogène sur milieu PPA qui est définie par la reprise ou non de la croissance mycélienne et sa survie sur feuilles détachées de la pomme de terre définie dans ce cas par le taux d'infection ; l'analyse de la variance nous a amené à constater qu'il y a une différence très hautement significative entre le pouvoir fongicide et/ou fongistatique des différents extraits des plantes, sur les trois souches de *P. infestans* et entre les deux modes de survie, une différence peu significative entre les quatre doses utilisées ; et en terme de souches cette différence s'est avérée non significative. (Tableau 9)

Cela est bien envisagé par le modèle GLM, où la survie du phytopathogène sur milieu de culture PPA frais est plus importante que celle sur feuilles détachées de la pomme de terre car l'inhibition de la reprise des isolats fongiques est d'environ de 95% sur les feuilles détachées et d'environ 75% sur milieu de culture artificiel PPA (Figure 34 A).

D'autre part l'inhibition de la reprise de la croissance des trois souches du phytopathogène étudié dans les deux modes de survie est très importante pour les traitements avec les extraits de la menthe odorante, du pacanier, du pistachier lentisque, de la posidonie, du romarin et de la sauge dépassant les 90% ; cette inhibition est moins importante environ 75% pour les traitements à base des extraits de l'ortie et de la prêle et elle est faible de l'ordre de 48% pour les traitements à base des extraits de l'ulve (Figure 34 B).

Par ailleurs, l'inhibition de la survie des trois isolats de *P. infestans* qu'elle soit sur milieu de culture ou sur feuilles détachées, évolue en fonction de la concentration de l'extrait utilisé pour atteindre son maximum pour les extraits purs qui ont marqué une inhibition moyenne de 90% et cela pour l'ensemble des plantes sauf pour l'ulve où on a remarqué que l'augmentation de la concentration a eu plutôt un effet positif sur la reprise du champignon (Figure 34 C).

Concernant la variabilité de l'inhibition entre les souches du phytopathogène ; les trois isolats étudiés ont eu le même comportement avec l'ensemble des traitements utilisés (Figure 34 D).

Tableau 9. Analyse de la variance de la survie sur milieu de culture et sur feuilles détachées de la pomme de terre des trois souches de *P. infestans* traitées par les extraits de plantes étudiées *in vitro*.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Mode	17314.033	1	17314.033	35.779	0.000
Extraits	49965.441	8	6245.680	12.906	0.000
Doses	4062.618	3	1354.206	2.798	0.041
Souches	105.688	2	52.844	0.109	0.897

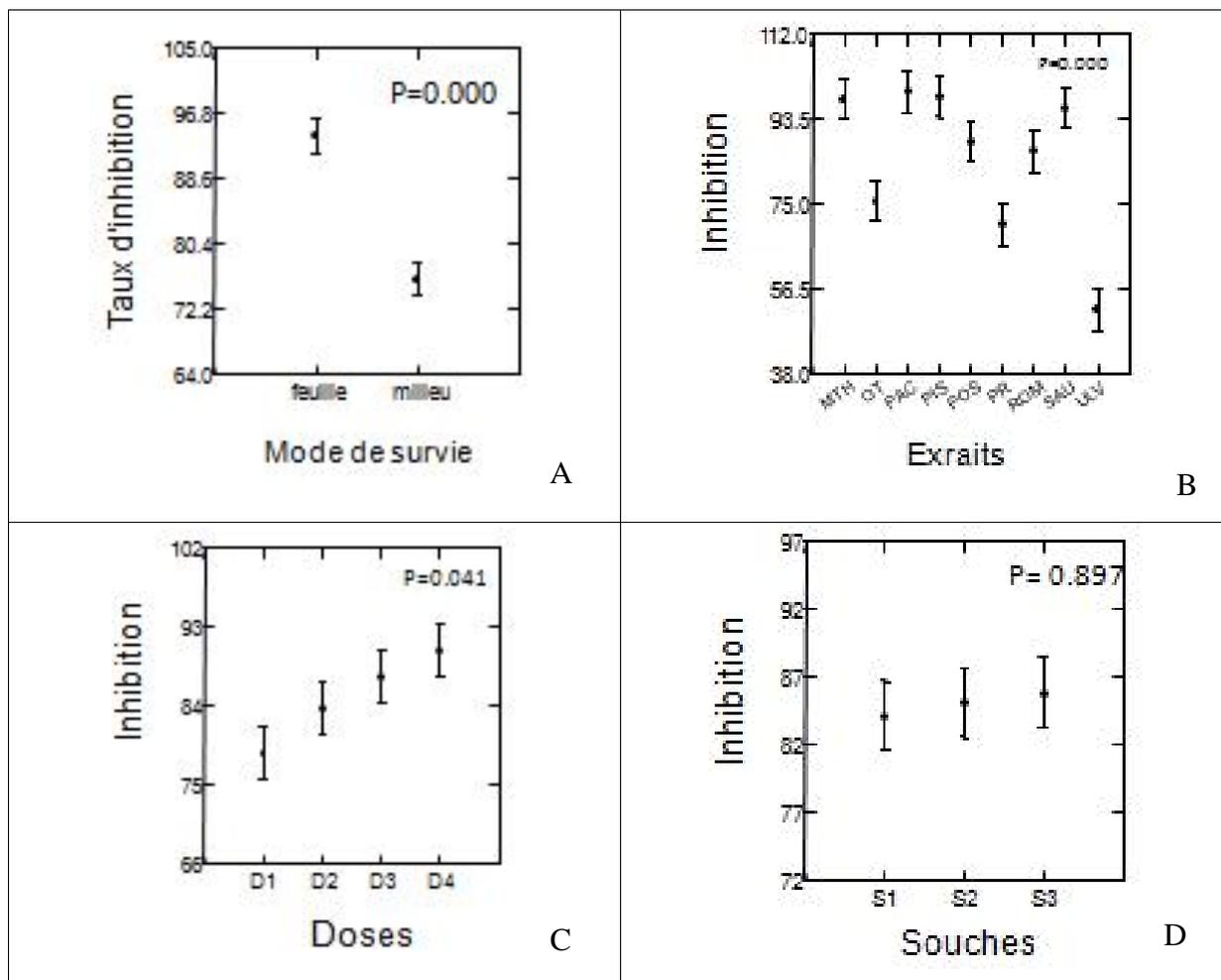


Figure 34. Taux d'inhibition de la reprise de la croissance mycélienne des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits, leurs doses, les souches étudiées et le mode de survie.

L'analyse en composante principale des deux modes de survie, des neuf purins et leurs doses, ainsi que les trois isolats de *P. infestans* a été effectuée en considérant l'inhibition de la reprise de la croissance mycélienne sur milieu PPA et l'effet des traitements sur la sévérité de la maladie; l'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes, l'axe1 (70.5%) et l'axe2 (19.35%) (Figure 35 B). Aussi, des calculs de la distance euclidienne sur la base d'une similarité de -2.5 ont montré la présence de quatre groupes (Figure 35 A et B), qui sont représentés comme suit :

- Groupe 1 : les extraits qui ont une capacité d'inhibition importante de la survie de la souche S1 de *P. infestans* sur milieu de culture artificiel PPA; ce groupe est représenté par les purins du romarin avec les concentrations 5 et 10%, de l'ortie avec les concentrations 10, 20 et 100% et *Ulva* sp avec la concentration 5%.

- Groupe 2 : regroupe les traitements les plus efficaces, qui ont une capacité d'inhibition très importante de la survie des trois isolats de l'agent phytopathogène, représenté par les extraits du pistachier lentisque, du pacanier et de la menthe odorante qui se sont révélés très efficaces que ce soit sur milieu PPA ou sur feuilles détachées de la pomme de terre et cela pour l'ensemble des concentrations aussi bien que les extraits du romarin avec les concentrations 20 et 100% sur milieu et les quatre concentrations sur feuilles détachées, les extraits de la sauge , de la posidonie et de la prèle avec toutes leurs concentrations sur feuilles détachées et presque toutes sur milieu sauf la D1 sauge, la D1, D2 posidonie et prèle ainsi que les extraits de l'ortie avec les quatre concentrations sur feuilles et les extraits de l'ulve verte avec la concentration 20% sur milieu et les concentrations 20 et 100% sur feuilles.
- Groupe 3 : formé par l'ensemble des purins de la prèle avec les concentrations 5 et 10%, de l'ulve avec les concentrations 10 et 100% et la dose 5% de l'ortie sur milieu PPA; ces traitements ont montré une très faible efficacité sur milieu sur les trois isolats à la fois.
- Groupe 4 : Il correspond aux traitements qui ont une efficacité considérable sur les deux isolats S2 et S3 du phytopathogène étudié, ce sont les extraits de la posidonie avec les deux doses D1 et D2 sur milieu PPA, les extraits de la laitue de la mer avec les doses D1 et D2 sur feuilles détachées et la dose D1 de l'extrait de la sauge sur milieu de culture.

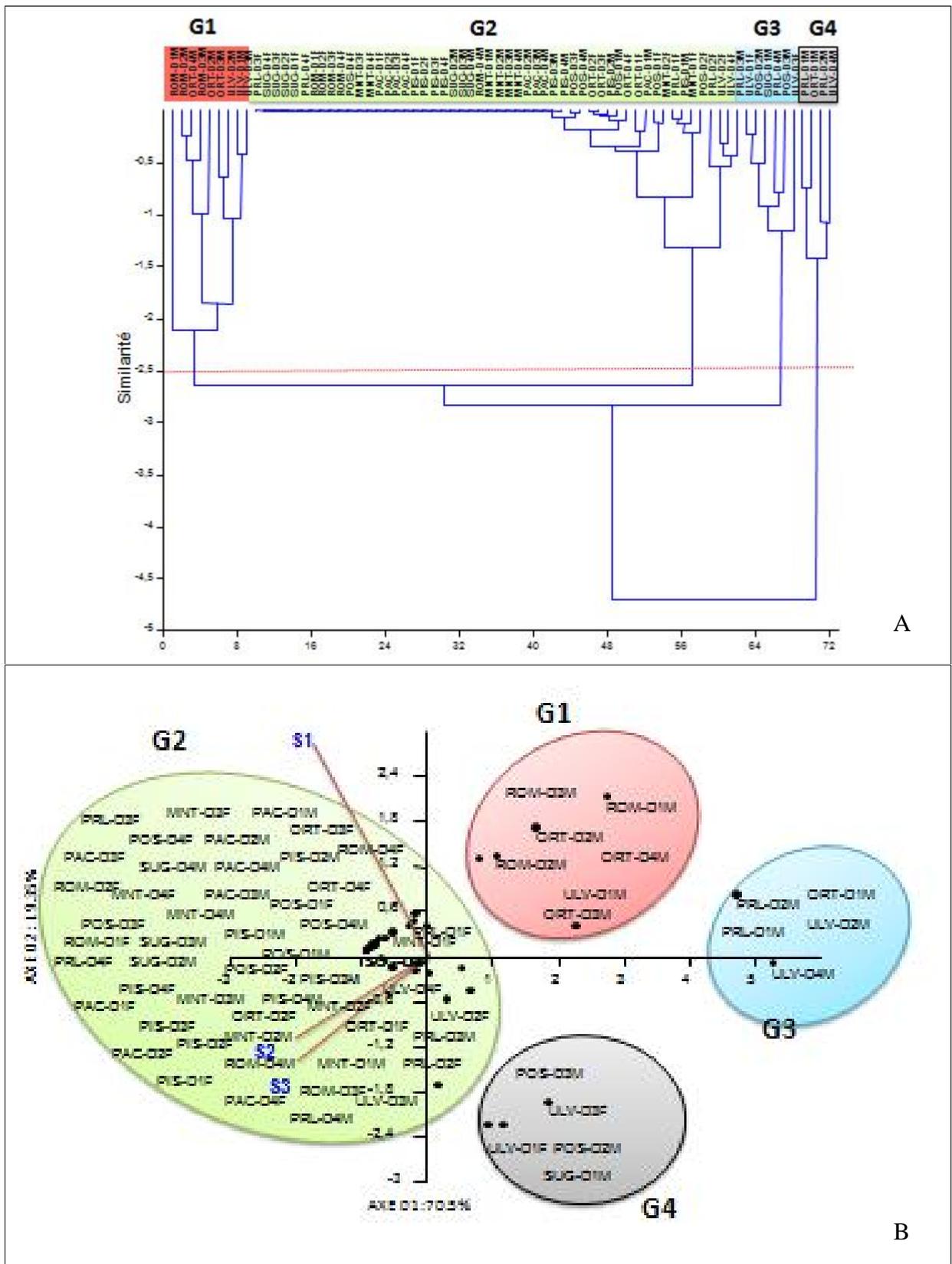


Figure 35. Analyse en composante principale (ACP) de l'inhibition de la survie sur milieu et sur feuilles détachées de la pomme de terre des trois isolats de *P. infestans* en fonction des extraits des plantes et leurs doses.

D'autre part, une analyse de la variance des taux de diminution de l'incidence de la maladie des isolats du phytopathogène en prenant en considération les différents traitements par les neuf extraits et les quatre doses, nous a montré qu'il y a une différence hautement significative entre les neuf extraits et entre les doses utilisées et une différence non significative entre les trois isolats du phytopathogène (Tableau 10).

Tableau 10. Analyse de la variance des taux de diminution de l'incidence de la maladie des trois souches de *P. infestans* traitées par les extraits de plantes étudiées *in vitro*.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Extraits	26667.490	8	3333.436	7.504	0.000
Doses	5170.370	3	1723.457	3.880	0.012
Souches	2057.613	2	1028.807	2.316	0.104

Ces résultats sont bien illustrés par le modèle GLM qui nous montre qu'il y a une variabilité importante de l'effet des neuf extraits sur l'incidence de la maladie des trois isolats fongiques d'où quatre extraits à savoir la sauge, le romarin, le pistachier lentisque et le pacanier, ont eu des taux d'inhibition plus importants dépassant les 98% ; suivis par les extraits de la menthe odorante, de la posidonie, de l'ortie et de la prêle avec des taux d'inhibition supérieurs à 80% et l'extrait d'*Ulva* sp classé en dernier avec des taux d'inhibition plus faibles avoisinant les 40% (Figure 36 A) ; cette inhibition augmente en fonction de la dose et atteint son maximum à la concentration 20% (Figure 36 B).

D'autre part, toutes les souches sont révélées sensibles aux traitements avec un taux minimum de 80% de la réduction de l'incidence de la maladie; l'isolat S2 a des taux plus faibles que les deux autres, alors que les isolats S1 et S3 ont un comportement identique vis-à-vis des traitements utilisés (Figure 36 C).

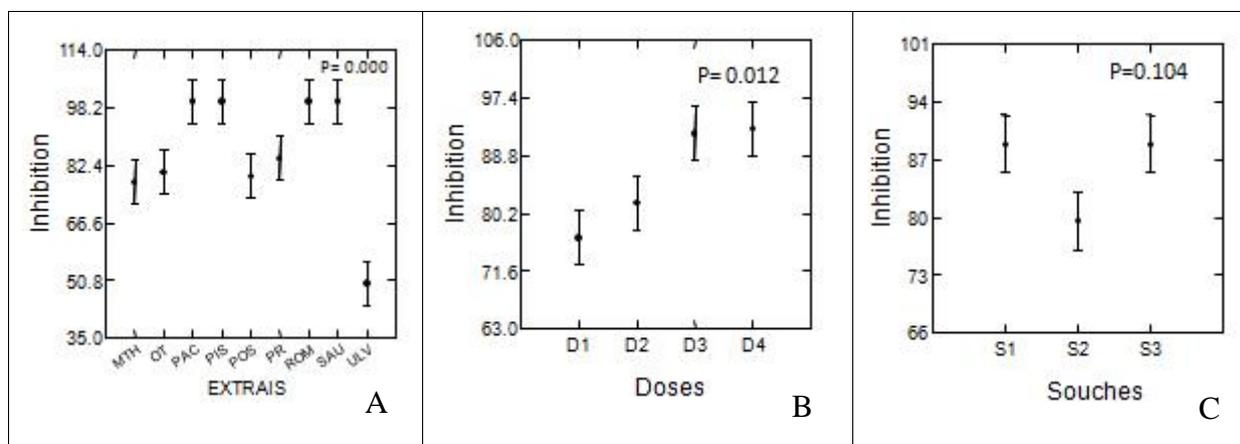


Figure 36. Taux de réduction de l'incidence de la maladie des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits et leurs doses

Un traitement plus détaillé des résultats obtenus a été réalisé à l'aide de l'analyse en composantes principales, en prenant en considération les neuf extraits étudiés, les quatre doses utilisées et les trois isolats fongiques. L'étude des corrélations a été réalisée sur deux axes. Axe1 (58.8 %) et l'axe2 (27.8%) (Figure 37B).

En plus, les calculs de la distance euclidienne sur la base d'une similarité de -2.8 ont séparé les traitements étudiés en 3 groupes (Figure 37).

- Groupe 1 : les extraits du pacanier, du pistachier lentisque, de la sauge et du romarin avec les quatre doses, en plus des extraits de la prèle, de la posidonie, de la menthe à feuilles rondes et de l'ortie avec les concentrations 20 et 100% ; Ce groupe a une corrélation positive avec l'ensemble des isolats de *P. infestans*, il est défini par les extraits à pouvoir très important de réduction de l'incidence de la maladie qui atteint généralement des taux de 100%.
- Groupe 2 : il comprend les doses 5 et 10% des extraits de la posidonie, la menthe odorante et la prèle, la dose 10% de l'ortie suivis par les doses D2 et D4 de l'extrait d'*Ulva* sp, ce groupe est plus ou moins efficace, induisant une inhibition qui avoisine les 50% des isolats S2, S3 et une inhibition importante qui atteint les 100% de l'isolat S1.
- Groupe 3 : Il correspond aux extraits dilués à 5% de l'ortie et de 5% et 20% de l'extrait de l'algue verte ; ce groupe a réduit l'incidence de la maladie de 60% à 100% pour l'isolat S3, d'environ 55% pour l'isolat S2 et généralement de 0% pour l'isolat S1.

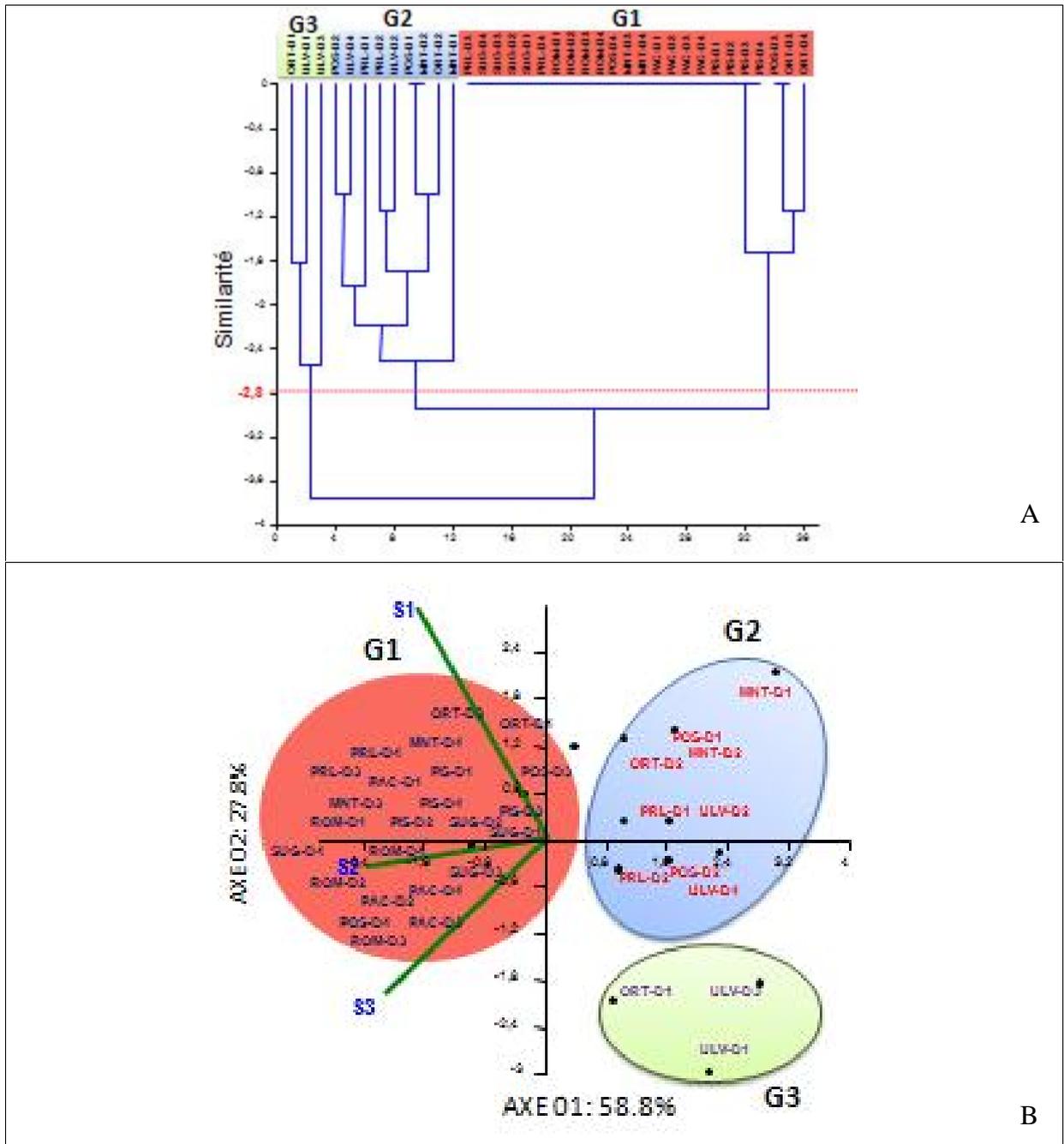


Figure 37. Analyse en composante principale (ACP) de la réduction de l'incidence de la maladie des trois isolats de *P. infestans* en fonction des extraits des plantes et leurs doses

3.1.6 Evaluation de la concentration inhibitrice fongicide (CIF)

La détermination des différentes CIF des purins de plantes nous a permis de les trier et de les classer selon leurs efficacité; elle nous a aidé en effet à déduire à partir de quelle concentration chaque extrait a un effet fongicide et à déterminer aussi bien à partir de quelle dose chaque isolat ne peut pas survivre.

Pour cela, nous avons effectué une analyse de la variance des différentes CIF en prenant en compte l'ensemble des extraits de plantes étudiées en éliminant les extraits de l'ulve verte car il y a eu reprise de la croissance mycélienne pour l'ensemble des concentrations utilisées ainsi que les trois souches utilisées dans notre étude, l'étude de la variance a montré que la différence est hautement significative entre les huit extraits pris en compte et elle est non significative entre les trois souches S1, S2 et S3 (Tableau 11).

Tableau 11. Analyse de la variance des CIF des trois souches de *P. infestans* traitées par les extraits de plantes étudiées *in vitro*.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Extraits	46665.625	7	6666.518	19.120	0.000
Souches	568.750	2	284.375	0.816	0.462

D'autre part l'analyse des résultats obtenus par le modèle GLM, confirme qu'il ya une variabilité importante entre les huit extraits où on observe au niveau de la figure (38 A) que les extraits de la menthe odorante, du pacanier, du pistachier lentisque et de la sauge ont les CIF les plus petites qui avoisinent les 10% suivis par les extraits du romarin avec des CIF qui avoisinent 70%, et finalement les extraits de l'ortie, de la posidonie et de la prèle avec des CIF qui avoisinent les 100%.

En termes de souche, l'isolat S1 est le plus sensible avec une CIF moyenne d'environ 44%, alors que les isolats S2 et S3 sont plus résistants avec une CIF moyenne supérieure à 50%, ces derniers ont presque le même comportement (Figure 38 B).

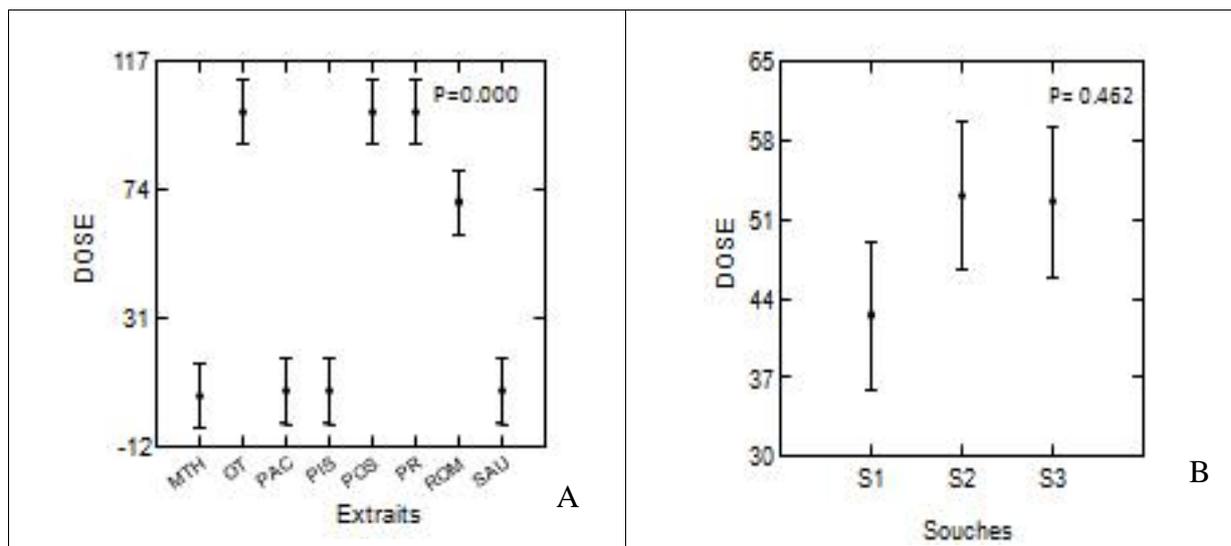


Figure 38. CIF des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits

Pour avoir un classement plus détaillé des extraits de plantes selon leurs pouvoirs fongistatiques et/ou fongicides, une analyse de la variance a été élaborée en fonction des deux types de concentration inhibitrice (minimale et fongicide), des huit extraits de plantes et des trois isolats de *P. infestans*.

La différence entre les deux types de concentration et la différence entre les purins étudiés, se sont révélées hautement significatives contrairement à celle des souches du phytopathogène (Tableau 12).

Tableau 12. Analyse de la variance des CMI / CIF des trois souches de *P. infestans* traitées par les extraits de plantes étudiées *in vitro*.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Concentrations	8268.750	1	8268.750	10.775	0.002
Extraits	51591.667	7	7370.238	9.605	0.000
Souches	1071.875	2	535.937	0.698	0.504

En effet, dans l'étude du modèle GLM, on a pu déduire que les concentrations inhibitrices minimales sont beaucoup plus petites que les concentrations fongicides avec une différence globale qui atteint les 28% (Figure 39 A), d'autre part et dans la figure (39 B) on peut classer les extraits en fonction de leurs CMI et CIF en quatre groupes, le premier regroupe les meilleurs extraits qui ont les plus petites CMI et CIF, il comprend les extraits de la menthe odorante, de la sauge, du pacanier et du pistachier lentisque avec des concentrations inhibitrices moyennes de 10% ; les extraits du romarin se trouvent dans le deuxième groupe,

suis par ceux de la posidonie et de l'ortie dans le troisième groupe, et enfin le quatrième avec des concentrations inhibitrices supérieures à 90% renfermant les extraits de la prèle. Par ailleurs, dans la figure (39 C) en prenant en compte les deux types de concentration inhibitrice, on constate que la souche S3 devient plus sensible avec un pourcentage d'inhibition qui atteint 30% suivie par la S2 avec un pourcentage qui avoisine les 35% et en dernier la S1 qui est la plus résistante avec un taux d'inhibition d'environ 44%.

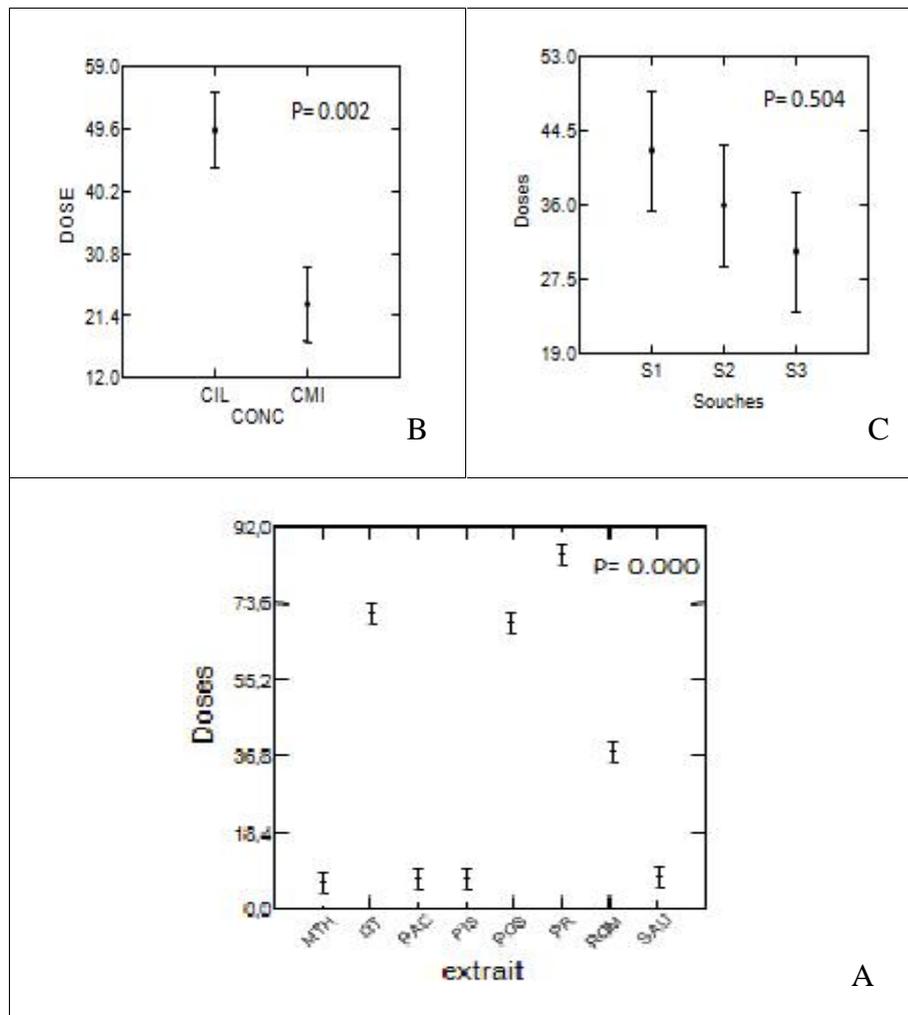


Figure 39. CIM / CIF des trois souches étudiées en modèle GLM selon la nature des extraits

3.1.7 Analyse globale des résultats obtenus

En dernier, pour pouvoir déterminer le paramètre le plus influençable par les traitements étudiés, et pour comprendre mieux le phénomène d'inhibition et surtout comment agit l'ensemble des extraits sur les différents isolats étudiés ; une analyse générale de la variance a été effectuée en prenant en compte les différents extraits des plantes utilisées, leurs doses, les trois souches du mildiou et les différents paramètres étudiés.

La différence entre les six paramètres étudiés est hautement significative (Tableau 13) ; ce qui peut être expliqué à l'aide du modèle GLM dans la figure 40, où on observe que l'inhibition de la croissance mycélienne est la moins importante que ce soit en début de l'expérimentation ou dans le test de survie sur milieu PPA, suivie par l'inhibition de la sporulation, de la germination, la réduction de l'incidence de la maladie et en dernier lieu l'inhibition de la survie sur feuilles détachées de la pomme de terre qui est supérieure à 95%.

Tableau 13. Analyse de la variance des différents paramètres étudiés selon les trois souches de *P. infestans* traitées par les extraits de plantes étudiées *in vitro*.

Facteur	somme des carrés	Ddl	Carrés moyens	F-ratio	P
Modes	36812.811	5	7362.562	10.653	0.000

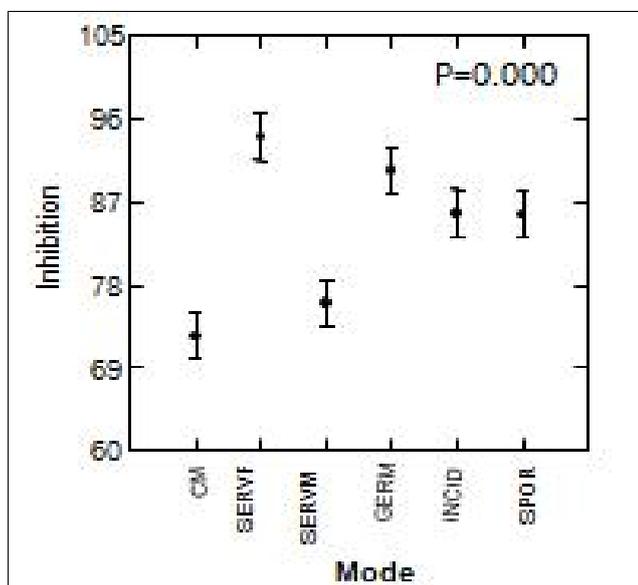


Figure 40. Inhibition des différents paramètres des trois souches étudiées en modèle GLM

3.2 Discussion

Plusieurs auteurs ont rapporté que les plantes ne disposent pas de système immunitaire mais doivent ainsi s'appuyer sur d'autres mécanismes de défense à de nombreux agents phytopathogènes. Elles sont capables de produire des substances naturelles très variées. En plus des métabolites primaires classiques, elles synthétisent et accumulent des composés secondaires dont la fonction physiologique n'est pas toujours évidente mais qui représente une large gamme de molécules exploitables en agriculture dans le cadre de la phytoprotection (Auger et Thibout, 2002 ; Haddouchi et Benmansour, 2008).

La défense aux infections fongiques engendre la synthèse de composés bioactifs (Morrisey et Osbourn, 1999), des protéines antifongiques (Selitrennikoff, 2001) et des peptides (Broekaert et *al.*, 1997).

A l'exception de l'extrait aqueux à base d'*Ulva* sp, l'ensemble des extraits aqueux des plantes testées ont affirmé leur pouvoir antifongique *in vitro* vis-à-vis des trois souches de *P. infestans*. Une variabilité de leur efficacité a été mise en évidence sur la croissance mycélienne, la sporulation, la germination, la survie du pathogène *in vitro* sur milieu de culture à base de petits pois et *in vivo* sur feuilles détachées de la pomme de terre.

Ainsi, le pouvoir inhibiteur des extraits aqueux testés à l'égard des trois isolats de *P. infestans* peut être interprété par les travaux de Burt (2004) ; Lahlou (2004) ainsi que Davicino et *al.* (2007) qui ont souligné que l'activité biologique d'un extrait de plante est liée à sa composition chimique, aux groupements fonctionnels de ses composés majoritaires, à leur effet synergique et à leurs proportions.

Yakhlef (2010) a également affirmé que la valeur d'un extrait tient à l'intégralité des constituants et non seulement à leurs composés majoritaires.

D'autre part Prasad et Kapoor (2004) ont démontré que les molécules antifongiques sont soit fongistatiques ou fongicides et peuvent engendrer des résistances.

Elles se distinguent en plusieurs classes: les phénols ou composés phénoliques, les polyènes, les dérivés azotés, les analogues nucléotidiques et les allylamines (Chami, 2005). En effet, les composés à large spectre antifongique appartiennent à trois grandes familles chimiques : les phénylpropanoïdes et les substances phénoliques (Cakir et *al.*, 2004; Chuang et *al.*, 2007), les terpénoïdes et les stéroïdes (Grande et *al.*, 1992), les alcaloïdes et les composés azotés (Cowan, 1999).

En effet, la quantité et la qualité de ces composés actifs dépendent de la plante, du tissu végétal, et de plusieurs facteurs exogènes (Demo et Oliva, 2008; Webster et *al.*, 2008).

Rappelant aussi que nos résultats sont très proches de nombreux travaux rapportés par la bibliographie et ayant déjà confirmé l'efficacité de certains extraits de plantes dans le contrôle du mildiou de la pomme de terre (Ashrafuzzaman et al., 1990; Gamliel et Yarden, 1998 ; Blaeser et Steiner, 1998-1999; Wang et al., 2001 ; Stephan et Koch, 2002; Rashid et al., 2004 ; Stephan et al., 2005 ; Krebs et al., 2006; Bekele et al., 2006 ; Maharjan et al., 2010, Yanar et al., 2011).

Dans ce sens, l'activité antifongique de la sauge contre *Phytophthora infestans* a été largement prouvée (Blaeser et Steiner, 1998 ; Blaeser et al., 2002 ; Kim et al., 2002; Dorn et al., 2007; Al Azeez et Nezam, 2009). Son efficacité reste liée à la présence de ces molécules identifiées comme, alpha-bisabolol, farnesol, anethole et carvacrol. (Jean et al., 1992 ; Takeuchi et al., 2005).

De même, les extraits de feuilles du pistachier lentisque sont connues pour leurs activités antibactériennes et antifongiques (Taran et al., 2009). Cependant, la seconde activité semble être beaucoup plus intéressante que la première (Iauk et al., 1996). Son efficacité réside dans la synergie de certains de ses composés (Derwich et al., 2010). Cependant, l'activité antimicrobienne de son huile essentielle est traduite par la haute concentration en -pinène (Baranowska et al., 2002) et le linalol (Imelouane et al., 2009).

D'autre part, les extraits du pacanier ont été largement testés contre plusieurs agents phytopathogènes. Osorio et al. (2009) ont récemment confirmé l'important pouvoir antifongique de leurs extraits acetoniques vis-à-vis de *Rhizoctonia solani*.

Aussi, de nombreuses études ont confirmé l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Mentha suaveolens*. Les principaux constituants aromatiques de cette plante sont classés dans l'ordre décroissant selon le pouvoir antifongique et antibactérien. On peut citer la pulegone, l'oxyde piperitenone et l'oxyde piperitone. D'autres dérivés aromatiques comme le carvone, le limonene et la menthone ont fait l'objet à d'autres études (Oumzil et al., 2002).

Par ailleurs, Le romarin a fait objet à de nombreux travaux. Ses activités antibactériennes et antifongiques peuvent être résumées par la composition pétrolière de ses extraits (Cardenas-Ortega et al., 2005; Pinto et al., 2006; Makhloufi et al., 2011).

Les travaux de Davidson et Naidu (2000) ont révélé les composés phénoliques tels que les terpènes où l'on peut citer le borneol, la came-phore, 1,8 cineole, pinene, camphone, verbenonone et l'acétate bornyl.

La prêle possède également un large spectre d'activité antimicrobienne contre plusieurs souches bactériennes et fongiques testées à savoir, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonelle enteritidis*, *Aspergillus niger* et *Candida albicans* (Radulovi et al., 2006).

D'autre part, L'extrait d'ortie a enregistré un effet antifongique remarquable contre plusieurs phytopathogènes testés particulièrement le genre *Fusarium* (Rechinger, 1963 ; Lawless, 1995; Newall et al., 1996; Hadizadeh et al., 2009).

La posidonie a eu aussi sa part dans la recherche des composés antimicrobiens. Kouki et al. (2002), ont démontré le pouvoir antifongique *in vitro* des extraits de *Posidonia oceanica* à différentes concentrations contre *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici*, *Monilinia sp.*, *Penicillium sp.* et *Rhizopus sp.* Un traitement préventif à base de cet extrait a réduit considérablement le pourcentage de pourritures des fruits en post-récolte (Exadaktylou et Thomidis, 2010).

Par ailleurs, une importante activité antibactérienne, mais une faible activité antifongique ont été prouvées par les algues vertes des genres *Enteromorpha* et *Ulva* (Prashantkumar et al., 2006 ;Younes et al., 2009). En effet, Sridhar et Vidyavathi (2006) ont suggéré que leur activité antimicrobienne est variable selon les régions, les saisons, la nature chimique et le micro-organisme ciblé.

En résumé, toutes ces études citées ont pu confirmer les résultats obtenus et les évènements rencontrés durant notre expérimentation.

En effet, un important pouvoir inhibiteur de la croissance mycélienne des isolats de *P. infestans* étudiés a été enregistré pour les extraits de sauge, de menthe odorante, du pistachier lentisque et du romarin, mais à des concentrations plus élevées pour ceux de la prêle, de l'ortie et de la posidonie.

En revanche, les extraits de l'ulve ont révélé de faibles taux d'inhibition et parfois même la stimulation de la croissance des isolats fongiques; cela coïncide avec les résultats de plusieurs recherches.

Les travaux de Kordali et al. (2003) ont souligné que les extraits bruts obtenus à partir des feuilles de *Pistacia lentiscus* ont inhibé totalement la croissance mycélienne de *Phythium ultimum* et de *Rhizoctania solani*. Le terpinenol et le -terpinéol, deux composants principaux

de l'huile essentielle de cette plante ont été responsables de l'inhibition totale de la croissance mycélienne d'*Aspergillus flavus* (Barra et al., 2007).

Le même effet a été démontré aussi pour l'ortie, concernant plusieurs champignons pathogènes et saprophytes dont la paroi mycélienne est riche en chitine (Brockae et al., 1989 ; Huesing et al., 1991). Dans ce sens, une inhibition complète de la croissance mycélienne a été mise en évidence avec les extraits bruts d'ortie pour *Alternaria alternata*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* et *Fusarium solani* (Veldhuizen et al., 2006 ; Hadizadeh et al., 2009). D'autre part, Goussous et al. (2010) ont mis en exergue l'effet inhibiteur important *in vitro* de l'extrait brut et à différentes concentrations de *Rosmarinus officinalis* à l'égard d'*Alternaria solani*. Yanar et al. (2011) et Dellavalle et al. (2011) ont également affirmé *in vitro* l'inhibition totale de la croissance mycélienne de *P. infestans* et d'*Alternaria* sp.

D'autres travaux ont souligné aussi le même effet avec les extraits de *Posidonia oceanica* vis-à-vis de *Fusarium* sp (Kouki et al., 2002) et avec les extraits de *Carya illinoensis* vis-à-vis de *Rhizoctonia solani* (Hernández-Castillo et al., 2010) .

En effet, Lucini et al. (2006) ont suggéré que les mono-terpènes présents dans les extraits de plantes augmentent la concentration des peroxydes lipidiques tels que les radicaux hydroxyle, l'alcoxyl et alkoperoxyl et provoquer ainsi la mort cellulaire.

En revanche, le pouvoir inhibiteur négligeable de l'extrait d'ulve sur le développement mycélien du champignon peut être traduit par Paulert et al. (2009), rappelant qu'il est possible que le ou les composés actifs de cette algue soient présents en très faible quantité dans les extraits bruts pour montrer leur pouvoir antifongique, ou que ces composés actifs ne réagissent pas avec le pathogène ciblé. Il serait donc nécessaire de confirmer cette activité par l'extraction de ces composés bioactifs dans un solvant différent de l'eau.

Ainsi, la stimulation de la croissance mycélienne de nos isolats selon la concentration en ulve coïncide avec les travaux de Paulert et al. (2009) affirmant, que les polysaccharides d'*Ulva armoricana* ont eu un effet stimulateur sur la germination et sur la croissance mycélienne de *Colletotrichum lindemuthianum*. Il ne peut pas être exclu que d'autres éléments tels que les acides aminés issus de la dégradation des tissus de l'algue et présents dans l'extrait hydrosoluble, peuvent avoir aussi le même rôle (Hugouvieux et al., 1997).

Les taux d'inhibition de la croissance mycélienne enregistrés par les différents extraits végétaux ont présenté une faible activité antifongique pour les dilutions respectives comparée aux extraits bruts. Ces résultats sont confirmés par ceux de Banso et *al.* (1999) affirmant, que les fortes concentrations des substances antimicrobiennes induisent une inhibition plus importante.

Dans ce sens, on a jugé important de déterminer la concentration minimale inhibitrice de chaque extrait. En effet, le pouvoir inhibiteur d'un extrait végétal vis-à-vis d'une souche microbienne peut connaître différents classements. Il peut être excellent pour des CMI < 5%, intéressant pour des CMI entre 5 et 25%, faible pour des CMI entre 25 et 50% et médiocre ou nul pour des CMI > 50 % (Koba et *al.*, 2004 ; Webster et *al.*, 2008). Ainsi, les extraits de sauge, du romarin, du pistachier lentisque, de la menthe odorante et du pacanier ont présenté un pouvoir inhibiteur excellent à intéressant, faible pour la posidonie et l'ortie et, médiocre pour la prêle.

Les observations microscopiques ont pu interpréter les mécanismes d'action des extraits de plantes testés sur l'inhibition de la croissance mycélienne, la sporulation, la germination et la survie des isolats étudiés. En effet, c'est l'effet toxique des composants d'un extrait sur la fonctionnalité et la structure de la membrane cellulaire qui est responsable du pouvoir antifongique (Sikkema et *al.*, 1995; Bouchra et *al.*, 2003 ; Yoshimura et *al.*, 2010).

Omidbeygi et *al.* (2007), ont suggéré que les composants des huiles essentielles et des extraits traversent la membrane cellulaire et interagissant avec les enzymes et les protéines de la membrane, c'est la production d'un flux de protons vers la cellule extérieure qui incite des changements cellulaires et en fin de compte, la mort du microorganisme. Cristani et *al.* (2007), ont ajouté que l'activité antimicrobienne est liée à la capacité de terpènes d'affecter non seulement la perméabilité mais aussi d'autres fonctions de membranes cellulaires. Ces composés peuvent aussi pénétrer à l'intérieur de la cellule et interagir avec les sites intracellulaires critiques. Ils augmentent la concentration de peroxydes lipidiques comme hydroxyl, alkoxy et des radicaux alkoperoxy et provoquent donc la mort cellulaire. Sharma et Tripathi (2006) ont traduit la lyse et la vésiculation du mycelium par l'activité des composants des huiles essentielles et des extraits sur les hyphes, conduisant à la sortie des constituants du cytoplasme, la perte de la rigidité et l'intégrité de la paroi cellulaire, aboutissant à sa fragmentation et à la mort du champignon.

D'autres auteurs ont rapporté aussi ces mêmes événements structuraux. Ils ont associé la concentration en éléments actifs aux changements morphologiques du mycélium ; des concentrations faibles ou moyennes aboutissent à des modifications de la forme des hyphes ;

des concentrations plus hautes de l'extrait produisent une diminution de l'épaisseur des parois cellulaires, la sortie des inclusions cytoplasmiques et la dégénérescence des hyphes (Blaeser et Steiner, 1998 ; Feng et Zheng ; 2007 ; Tavares et *al.*, 2008)

Nos résultats ont révélé également que tous les extraits de plantes testés même à la plus faible dilution (5%) à l'exception de celui de l'ulve, sont d'excellents inhibiteurs de la sporulation et de la germination de *P. infestans*. Leurs taux d'inhibition dépassent généralement les 75% et peuvent atteindre les 100% pour certains extraits tels que le pistachier lentisque, le pacanier et le romarin. Cela peut être traduit par la déformation des sporanges et la lyse de leur contenu par les molécules bioactives renfermées dans ces extraits.

Dans ce sens, plusieurs travaux coïncident avec ces derniers. Il s'est avéré que les extraits de plantes, riches en groupements phénols ont montré également, une activité inhibitrice particulièrement élevée contre la sporulation des champignons (Inouye et *al.*, 1998).

Les travaux de Duru et *al.* (2003) ont confirmé que les effets antifongiques de plusieurs extraits de plantes semblent avoir une corrélation avec le développement incomplet des conidiophores et des modifications morphologiques d'*Aspergillus fumigatus*.

En outre, Maxim et *al.* (2005) ont démontré l'inhibition totale *in vitro* 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*.

Itako et *al.* (2008) et Goussous et *al.* (2010) ont confirmé les mêmes résultats pour l'extrait brut et à différentes concentrations de *Rosmarinus officinalis* à l'égard d'*Alternaria solani*.

Dans le même sens, Blaeser et Steiner (1998) ont montré que les extraits de différentes plantes empêchent la germination et affectent la sortie et mobilité des zoospores de *P. infestans*. Blaeser et *al.* ont confirmé cela avec les extraits de *Salvia officinalis*, en 2002.

En revanche, Cluzet et *al.* (2004) ont affirmé la stimulation de la germination des conidies de *Colletotrichum lindemuthianum* par les extraits d'*Ulva armoricana*.

Concernant la survie de nos isolats *in vitro* ou *in vivo*, tous les extraits testés, mis à part celui de l'ulve, ont montré un effet fongistatique à faibles concentrations et un effet fongicide en augmentant les doses. En effet, certains extraits ont pu empêcher complètement l'apparition des symptômes du mildiou sur feuilles détachées de la pomme de terre.

La détermination des CIL nous a permis de savoir à partir de quelle concentration chaque extrait devient fongicide. En se basant sur l'échelle de Koba et *al.* (2004) et Webster et *al.* (2008), on a pu déduire l'effet fongicide des extraits de la menthe odorante, du pacanier, du pistachier lentisque et de la sauge à partir de la concentration 10%. Ce sont donc, des extraits

à pouvoir inhibiteur intéressant. Cependant, les extraits du romarin, de la posidonie, de l'ortie et de la prêle sont des solutions à pouvoir inhibiteur médiocre car leurs CIL dépassent les 70%. Ces résultats probants pourraient être liés à la composition phyto-chimique de ces plantes. Ils suggèrent qu'elles renferment des molécules à activité fongicide. Cette hypothèse coïncide avec plusieurs travaux rapportés par la bibliographie.

En effet, Bansa et *al.* (1999) ont révélé des substances antifongiques fongistatiques dans les extraits de plantes aux concentrations inférieures qui deviennent fongicides aux concentrations plus élevées.

Blaeser et Steiner (1998), ont souligné la réduction de la sévérité du mildiou de la pomme de terre par les extraits de plantes. Blaeser et *al.* (2002), ont confirmé que les extraits de *Salvia officinalis* ainsi que d'autres plantes ont réduit considérablement les taches foliaires et les symptômes en général.

D'autre part, les extraits de prêle ont été surtout décrits pour leurs propriétés fongicides (Cwalina-Ambroziak et Nowak, 2011).

De leur part, Mekuria et *al.* (2001), ont constaté que les extraits d'*Urtica dioica* ont provoqué une réduction significative des symptômes des maladies causées par *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans* et *Oidium lycopersicum* sur tomate, *Erysiphe graminis f. sp. tritici* sur blé et *Uromyces appendiculatus* sur les haricots.

Par ailleurs, en considérant tous les paramètres étudiés sur nos trois souches de *P. infestans*, une légère différence n'a été ressentie que sur la sporulation et la germination, où les taux d'inhibition de la S1 ont été plus faibles que ceux des deux autres souches. Ces résultats coïncident avec ceux de Hammi (2003) qui a suggéré que, les souches du type sexuel A2 sporulent plus que celles du type sexuel A1. Ainsi, l'effet antifongique de nos extraits sur la sporulation et la germination ont été plus marqués sur les isolats S2 et S3 identifiés comme type A2.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

Ce présent travail a visé l'évaluation du pouvoir antifongique *in vitro* des extraits aqueux à base de plantes et d'algues vertes marines sur le développement de *Phytophthora infestans*, agent responsable du mildiou de la pomme de terre, en prenant en considération trois isolats, dont deux identifiés comme A2 et un comme A1 ; les traitements à base des extraits aqueux à différentes concentrations sur l'inhibition de la croissance mycélienne, de la sporulation, de la germination et de la survie *in vitro et in vivo* de ce redoutable agent phytopathogène.

Dans ce sens ; et au terme de ce modeste travail, il est important de rappeler les résultats les plus importants.

Les extraits du pacanier, de la menthe odorante, de la sauge, du pistachier lentisque et du romarin même à la plus faible concentration (5%), étaient des excellents inhibiteurs de la croissance mycélienne dépassant les 80%, alors que pour les extraits de la prêle, de la posidonie et de l'ortie, les taux d'inhibition enregistrés étaient aussi intéressants dépassant même les 60% avec des CMI variant entre 5 et 100% selon l'isolat fongique. Cependant, ces taux étaient très faibles pour l'extrait aqueux à base d'algue verte du genre *Ulva* (25%). Parallèlement, l'ensemble des extraits de plantes étudiées, a induit à des modifications structurales des souches de *P. infestans* traduit par la lyse et la vésiculation du mycélium ainsi que par la déformation et la digestion du contenu des sporanges. En effet, la sporulation et la germination des trois isolats fongiques ont été très affectées par l'ensemble des traitements avec des taux d'inhibition dépassant les 95% à l'exception de l'extrait d'*Ulva* sp. et des extraits de la posidonie, de la prêle et de l'ortie aux concentrations 5% et 10%. De même, la survie des isolats préalablement inhibés sur milieu PPA frais et sur les feuilles détachées de la variété Spunta de la pomme de terre, a été plus ou moins absente selon la nature de l'extrait et sa concentration.

Cette étude sur le pouvoir antifongique *in vitro* des extraits aqueux de plantes et d'algues a servi de base pour déterminer les concentrations suffisantes et efficaces en vue de leur utilisation dans la gestion du mildiou de la pomme de terre. Ce pouvoir antifongique *in vitro* doit être confirmé par un suivi *in vivo*, notamment pour les espèces végétales qui ont révélé une activité antifongique très importante.

A la lumière de ces résultats, certaines recommandations sont suggérées pour maîtriser la gestion de cette maladie en Algérie. Il est intéressant donc d' :

- Etudier le profil phyto-chimique des plantes les plus efficaces, et identifier le ou les composés qui ont eu un effet sur *Phytophthora infestans*.
- formuler les plantes les plus efficaces pour les tester *in vivo* en plein champ, afin de confirmer leur efficacité dans le milieu naturel, et évaluer l'effet du facteur environnement sur ces traitements pour les exploiter en tant que biopesticides.
- Etudier la toxicologie et la rémanence des traitements à base de plantes avant de les commercialiser.
- Tester leur pouvoir antifongique sur d'autres agents phytopathogènes redoutables ainsi que leur activité biologique sur d'autres maladies et ravageurs.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Ahmed-Serir B. et Moussaoui A., 2011** : Le mildiou de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. en Algérie, Caractérisation culturale et pathogénique de trois isolats Algériens de *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary, Th. Ing. Univ. Saad Dahleb de Blida, Algérie, 47p.
- **Al-Azeez A. et Nezam Z., 2009**: Efficiency of water extracts of some plants to control citrus gummosis disease by paint on citrus cultivar in the coastal region tartous province 2007-2008, Seventh Conference of General Commission for Scientific Agricultural Research Damascus, 3-4p.
- **Alice M.C., Tannis M.J. et Charles D.H., 1990**: Antimicrobial activity of juglone, *Phytotherapy Research* 4(1), 11-14p.
- **Alim Y., 2010** : La filière de pomme de terre en Algérie, 12-13p.
- **Andriveau D. et Lebreton L., 1997** : Mildiou de la pomme de terre, ou en sommes-nous après 150 ans, *Phytoma* 494 (5), 24-27p.
- **Andriveau D., 1994**: Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils, *Soil Biologie and biochemistry* 26, 945-952p.
- **Andriveau D., 1995**: Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil, *J. Phytopathology* 85, 1053-1056p.
- **Anonyme, 2008** : Maladies, ravageurs et désordres de la pomme de terre, Guide d'identification et fiches descriptives, Co- édition Fnpppt , Gnis et Arvalis, 192p.
- **Anonyme, 2012** : Salon international de la pomme de terre Mostabatatis spécial quatrième édition ,4-6p.
- **Aruoma O.I., Halliwell B., Aeschbach R. et Löliger J., 1992**: Antioxidant and prooxidant properties of active rosemary constituents, carnosol and carnosic acid, *Xenobio-tica* 22 (2), 257–268p.
- **Ashrafuzzaman MH., Khan AR. et Howlider AR., 1990**: *In vitro* effect of lemongrass oil and crude extracts of some higher plants on *Rhizoctonia solani*, *Bangladesh J. Plant Pathol.* 6, 17-18p.
- **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, 77-96p.

- **Auger R. et Laporte-Cru J., 1982 :** *Flore du domaine atlantique du Sud-ouest de la France et des régions des plaines*, CNDP, 516 p.
- **Auyong T.K., Westfall B.A. et Russell R.L., 1963:** Pharmacological aspects of juglone, *Toxicon* 1(4), 235-239p.
- **Aziz A.B., Poinssot X., Daire M., Adrian A., Bézier B., Lambert J-M. et Joubert A., 2003:** Laminarin elicits defense responses in grapevine and induces protection against *Botrytis cinerea* and *Plasmopara viticola*, *Mol. Plant-Microbe Interact.*16, 1118-1128p.
- **Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. et Idaomar M., 2008:** Biological effects of essential oils, *Food and Chemical Toxicology* 46, 446-475p.
- **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, 4p.
- **Banso A., Adeyemo S.O. et Jeremiah P. 1999:** Antimicrobial properties of *Vernonia amygdalina* extract, *J. Appl. Sci. Manage.* 3, 9-11p.
- **Baranowska M., Mardarowicz M., Wiwart M., Poblócka L. et Dynowska M., 2002:** Antifungal Activity of the Essential Oils from Some Species of the Genus *Pinus* 57(5-6),478-82p.
- **Barat J., Paran G. et Bernabé C., 2012 :** La pomme de terre, bilan de campagne 2010-2011, France AgriMer, 8p.
- **Barra A., Coroneo V., Dessi S., Cabras P. et Angioni A., 2007:** Characterization of the volatile constituents in the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from different origins and its antifungal and antioxidant activity, *J. Agric. Food Chem.* 22,55p.
- **Basaga H., Tekkaya C. et Acitel F., 1997:** Antioxidative and free radical scavenging properties of rosemary extract, *Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie* 30 (1), 105–108p.
- **BASF., 2012 :** Une pomme de terre OGM mais résistante au mildiou, 4^{ème} salon de la pomme de terre 2012 ,11p.
- **Bashan B., Kadish D., Levy Y. et Cohen Y., 1989:** Infectivity to potato sporangial germination, and respiration of isolates of *Phytophthora infestans* from metalaxyl-sensitive and metalaxyl-resistant populations, *Phytopathology* 79, 832-836p.

- **Bekele K. et Mela A., 2002:** Integrated potato late blight management, Experience of Farmers Field School (FFS) in Dendi District, Edit. Gemechu Keneni, Yohannes Gojjam, Kiflu Bedane, Chilot Yirga and Asgelil Dibabe, Holetta Agricultural Research Center, Holetta, Ethiopia, 55–67p.
- **Bekele K., Kasetsart J. et Tharmmasak S., 2006:** Effect of Intercropping on Potato Late Blight *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, Development and Potato Tuber Yield in Ethiopia 40, 914 – 924p.
- **Beninal L., 2011 :** Diversité génétique de *Phytophthora infestans* agent du mildiou de la pomme de terre en Algérie, Th. Mag. E.N.S.A El Harrach, 88p.
- **Berber F., Ouazzani T.M., Badoc A. et Douira A., 2009 :** Antagonisme *in vivo* de deux *Trichoderma* à l'égard de quatre espèces de *Bipolaris* pathogènes sur le sorgho, Bull. Soc. Pharm., Bordeaux 148, 93-114p.
- **Bernard P., Pesando D., Viso A.C., Panayotidis P. et Catsiki V.A., 2006 :** Impact de la pollution sur la composition chimique et l'activité antibactérienne et antifongique des Extraits de *Posidonia oceanica* (L.) Delile, Rapports finaux sur les projets de recherche traitant des effets de polluants sur les communautés et les organismes marins, MAP Technical Reports Series (UNEP), N°73 / UNEP, Athens (Greece), Mediterranean Action Plan, FAO, Rome (Italy), 115-129p.
- **Bertrand B., Collabert J.P. et Petiot E., 2007 :** Les plantes au secours des plantes, Purin d'ortie et Cie, Edit. Terran, Sengouagnet, 128p.
- **Blaeser P., Steiner U. et Dehne H.W., 2002 :** Composés végétaux ayant une activité antifongique, Faculté d'agriculture, Univ. Bonn, 97p.
- **Blaeser P. et Steiner U., 1998:** Antifungal activity of plant pathology extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*), In Modern Fungicides and Antifungal Compounds II, 12th International Reinhardt brunn Symposium, Freidrichroda, Thuringia, Germany, Review of Plant Pathology 78,936p.
- **Blaeser P. et Steiner U., 1999:** Antifungal activity of plant extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*). Modern Fungicides and Antifungal Compounds 11-12th, International Reinhardtbrunn Symposium, Friedrichrode, Germany, 24-29th May 1998, 491- 499p.
- **Blaeser P., 1999 :** Isolement et caractérisation de composés végétaux ayant une activité antifongique, ETD, Univ. Bonn, Edit. Shaker, 142 p.

- **Blamey M. et Wilson C., 2003 :** Toutes les fleurs de méditerranée, les fleurs, les graminées, les arbres et les arbustes, Edit. Delachaux et Niestlé, Collec. Les guides du naturaliste, 560p.
- **Bock B., 2012:** Base de données nomenclaturales de la flore de France, Tela Botanica, BDNFF 4(02) ,135 p., <http://www.tela-botanica.org>.
- **Bouchet P., Guignard J. L., Pouchus Y. F. et Villard J., 2000 :** Les champignons, Mycologie fondamentale et appliquée, Biochimie végétale, 2^{ème} Edit. Masson, 274p.
- **Bouchra C., Achouri M., Hassani L.M.I. et Hmamouchi M., 2003:** Chemical composition and anti-fungal activity of essential oils of seven Moroccan Labiatae against *Botrytis cinerea* Pers, Fr. J. Ethnopharmacol. 89, 165-169p.
- **Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S. et Tunesi L., 2009 :** Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*, 1-202p., <http://www.ramoge.org>.
- **Broekaert W.F., Van Parijs J., Leyns F., Joos H. et Peumans W.J., 1989:** A chitin-binding lectin from stinging nettle rhizomes with antifungal properties, Science 245, 1100-1102 p.
- **Buia M.C. et Mazzella L., 2003:** Reproductive phenology of the Mediterranean sea grasses *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers and *Zostera noltii* Hornem, Laboratoire d'Ecologie du benthos de la station zoologique Dohrn de Naples, 80077 Ischia, Italie 40 (4), 343–362p.
- **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.
- **Campbell J., Kellogg A. et Stevens W., 2002 :** Botanique systématique, Une perspective phylogénétique, Edit. DeBoeck, 467p.
- **Cao K.Q. et Arina H., 2001:** Inhibition efficacy of several plant extracts and plant produces on *Phytophthora infestans*, J. Agri. Univ. of Hebei, China, 9p.
- **Cardenas-Ortega N.C., Zavala-Sanchez M.A., Aguirre-Rivera J.R., Perez-Gonzalez C. et Perez-Gutierrez S., 2005:** Chemical composition and antifungal activity of essential oil of *Chrysactinia mexicana* gray, J. of Agricultural and Food Chemistry 53, 4347–4349p.

- **Carrier A. et Senécal M., 2012 :** Bulletin d'information cultures en serres, un nouveau fongicide, Cultures en serres N°8, Edit. Bruno Gosselin et Cindy Ouellet, RAP, 2p.
- **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, 324p.
- **Cavar S., Maksimovi M., Soli M.E., Jerkovi A. et Besta R., 2008:** Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activity of two Satureja essential oils, Food Chemistry 111, 648-653p.
- **Centeno S., Calvo M.A., Adelantado C. et Figueroa S., 2010:** Antifungal activity of extracts of *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris* against *Aspergillus flavus* and *A. ochraceus*, Pak. J. Biol. Sci.13(9),452-455p.
- **Chami F., 2005:** Evaluation *in vitro* de l'Action Antifongique des huiles essentielles d'origan et de girofle et de leurs composés majoritaires, Application *in vivo* dans la prophylaxie et le traitement de la candidose vaginale sur des modèles de rat et de souris immunodéprimés, Th. Doc. Univ. Sidi Mohamed Ben Abdallah Fès, 126p.
- **Chamont S., 2010 :** Le micro-organisme pathogène de la culture description de l'agent pathogène, Perspectives Agricoles 236,1-20p.
- **Chandía N.P. et Matsuhira B., 2008:** Characterization of afucoidan from *Lessonia vadosa* (Phaeophyta) and its anticoagulant and elicitor properties, Int. J. Biol. Macromol. 42, 235-240p.
- **Changins W. et Reckenholz T., 2008 :** La Pomme de terre, Journée d'information d'agriculture, coopération au développement, Direction du développement et de la coopération (DDC), Freiburg strasse130, 3003,191p.
- **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, E.N.S.A. El Harrach, 1-11p.
- **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, 21-42p.
- **Chuang H., Cheng Y., Wu C., Chang S., Chang T. et Su Y., 2007:** Antifungal activity of essential oil and its constituents from *Calocedrusm acrolepis* var. *fomiosana* Florin leaf against plant pathogenic fungi, Bioresour. Technol. 99, 6266-6270p.

- **Clarys L., 2005 :** La pomme de terre de contre saison dans le Sud Est Malgache, Inter aide, Programme Agricole MANAKARA, 3p.
- **Cluzet S., Torregrossa C., Jacquet C., Lafitte C., Fournier J., Mercier L., Salamagne S., Briand X., Esquerré-Tugayé M.T. et Umas B. D., 2004:** Gene expression profiling and protection of *Medicago truncatula* against a fungal infection in response to an elicitor from green algae *Ulva* spp, *Plant Cell Environ* 27, 917-928p.
- **Cook W., 2011:** Pecan (*Carya illinoensis*) Trees, Shrubs, and woody vines of North Carolina, EL Little J. 1979, Checklist of United States trees (Native and Naturalized), U.S. Department of Agriculture Handbook ,541p.
- **Cowan M.M., 1999:** Plant products as antimicrobial agents, *Clinical Microbiology Reviews* 12, 564-582p.
- **Daayf F. et Platt H.W., 1999:** Assessment of mating types and resistance to metalaxyl of Canadian populations of *Phytophthora infestans* in 1997. *Am. J. Potato Res.* 76, 287-295p.
- **Daayf F. et Platt H.W., 2000:** Changes in metalaxyl resistance among glucose phosphate isomerase genotypes of *Phytophthora infestans* in Canada during 1997-1998, *Am. J. Potato Res.* 77, 311-318p.
- **Daayf F., Platt H.W. et Peters R.D., 2000:** Changes in mating types, resistance to metalaxyl, and Gpi-allozyme genotypes of *Phytophthora infestans* in Canadian provinces from 1996 to 1998, *Can. J. Plant Pathol.* 22, 110-116p.
- **Davidson P.M. et Naidu A.S., 2000:** Phyto-phenols, In A.S. Naidu, Editor *Natural Food Antimicrobial Systems*, CRC Press, Boca Raton, 265–294p.
- **Del Campo J., Amiot M.J. et Nguyen C., 2000:** Antimicrobial effect of rosemary extracts, *J. Food Protection* 63 (10), 1359–1368p.
- **Delattre C.P., Michaud B., Courtois J. et Courtois M., 2005:** Oligosaccharides engineering from plants and algae applications in biotechnology and therapeutics, *Minerva Biotech.* 17, 107-117p.
- **Delazar A., Reid R.G. et Sarker S.D., 2004:** GC-MS analysis of the essential oil from the oleoresin of *Pistacia atlantica* var. *Mutica*, *Chem. Nat. Compd.* 40 (1), 24-27p.
- **Dellavalle P.D., Cabrera A., Alem D., Larrañaga P., Ferreira F. et Rizza M.D., 2011:** Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *alternaria* spp., *Chilean J. Agricultural Research* 71, 231-239p.

- **Demo M.S. et Oliva M., 2008:** Antimicrobial activity of medicinal plants from South America, Edit. Watson, R.R., and V.R. Preedy, Botanical medicine in clinical practice, CABI International, Wallingford, UK., 152-164 p.
- **Derwich E., Manar A., Benziane Z. et Boukir A., 2010:** GC/MS Analysis and *In vitro* Antibacterial Activity of the Essential Oil Isolated from Leaf of *Pistacia lentiscus* Growing in Morocco, World Applied Sciences J. 8, 1267-1276p.
- **Desjardins A.E., McCormick S.P. et Corsini D.L., 1995:** Diversity of sesquiterpenes in 46 potato cultivars and breeding selections, J. Agric. Food Chem. 43, 2267-2272p.
- **Djenane D., Sánchez-Escalante A., Bel-trán J.A. et Roncalés P., 2002:** Ability of -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), 407-415p.
- **Domingo M., 2006:** Pictorial Cyclopeda of Philippine Ornamental Plants, Philippine publications on medicinals plants, Edit. Bookmark, 388 p.
- **Dorn B., Musa T., Krebs H., Fried P.M. et Forrer H.R., 2007:** Control of late blight in organic potato production, evaluation of copper-free preparations under field, growth chamber and laboratory conditions, Eur. J. Plant Pathol. 119, 217-240p.
- **Dubois A., Gandon S., Capowiez Y., Michalakos Y. et Olivieri I., 1996:** Local adaptation and gene-for-gene coevolution in a metapopulation model, Proc. R. Soc. London B 263, 1003-1009p.
- **Ducerf G., 2003:** Plantes bio-indicatrices, guide de diagnostic des sols, Edit. Promonature, 278 p.
- **Duru M.E., Cakir A., Kordali S., Zengin H., Harmandar M., Izumi S. et Hirata T., 2003:** Chemical composition and anti-fungal properties of essential oils of three *Pistacia* species, Fitoterapia 74,170-176p.
- **Duvanchelle S. et Andrivon D., 1996 :** Maladies à distribution géographique mondiale, le mildiou et son agent *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, Edit. INRA et ITCF, France, 607p.
- **Duvauchelle S. et Andrivon D., 2007 :** Effets du changement climatique, un mildiou plus précoce et plus agressif, J. Potato planet 6, 32-37p.
- **Erwin D.C. et Ribeiro O. K., 1996:** *Phytophthora* diseases worldwide, The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 562p.

- **Exadaktylou E. et Thomidis T., 2010:** Effect of boron on the development of Brown rot (*Monilinia laxa*) on peaches, Crop Protection, 10p.
- **FAO, 2008 :** FAOStat, produit par pays, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- **FAO, 2010 :** FAOStat, produit par pays, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- **FAO, 2012 :** FAOStat, produit par pays, <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- **Feng W. et Zheng X., 2007:** Essential oils to control *Alternaria alternata* *in vitro* and *in vivo*, Food Control 18, 1126-1130p.
- **Fontaine P., 2009 :** *Pistacia lentiscus*, 416 p., <http://www.phrygana.eu/>.
- **Fry W.E. et Goodwin S.B., 1997:** Resurgence of the Irish potato famine fungus, J. Bioscience 47, 363-371p.
- **Gallegly M. E. et Hong C., 2008:** *Phytophthora*, Identifying species by morphology and DNA Fingerprints, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota USA., 157p.
- **Gamliel A. et Yarden O., 1998:** Diversification of diseases affecting herb crops in Israel accompanies the increase in herb crop production, Phytopar. 26, 1-6p.
- **Gaucher D., Duvauchelle S. et Andrivon D., 1998 :** Mildiou de la pomme de terre, Le champignon évolue la lutte aussi, perspective Agricoles 236 ,1-20p.
- **Georgantelis D., Ambrosiadis I., Katikou P., Blekas G. et Georgakis S. A., 2007:** Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters, Meat Science 76, 1172–181p.
- **Gîrzu M., Carnat A., Privat A.M., Fialip J., Carnat A.P. et Lamaison J.L., 1998 :** Sedative Effect of Walnut Leaf Extract and Juglone, an Isolated Constituent, Pharmaceutical Biology 36(4), 280-286p.
- **Gisi I.U. et Cohn Y., 1996:** Resistance to phenylamide fungicide, A case study with *Phytophthora infestans*, Th. PhD., Wageningen Agricultural University, Netherlands,147p.
- **Goodwin S.B., Sujkowski L.S. et Fry W.E., 1998:** Genetic change within population of *P. infestans* in the united states and canada during 1994 to 1996, Raie of migration and recombination. J. Phytopathology 88, 939-949p.
- **Goussous S.J., Abu-El-Samen F.M. et Tahhan R.A., 2010:** Archives of Phytopathology and Plant Protection, Jordan 43, 1745-1757p.
- **Grande M., Torres P., Piera E. et Bellido I.S., 1992:** Triterpenoids from *Dittrichiaviscosa*., Phytochemistry 31(5), 1826-1828p.

- **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 8, 8p.
- **Hadizadeh B., Peivastegan M. and Hadizadeh K., 2009:** Antifungal Activity of Nettle (*Urtica dioica* L.), Colocynth (*Citrullus colocynthis* L. Schrad), Oleander (*Nerium oleander* L.) and Konar (*Ziziphus spina christi* L.) Extracts on Plants Pathogenic Fungi, Pakistan J. Biological Sciences 12 (1), 58-63P.
- **Haine D. et Verlaine A., 2006 :** AsblPameseb, Un réseau de stations météorologiques automatiques télémessurées, Direction Générale de l'Agriculture de la région Wallonne, 42 p.
- **Hall G.D., 2000:** Pecan food potential in prehistoric North America, Economic botany, Bronx, New York Botanical Garden Press, 103-112p.
- **Hamdani M., 2008 :** Etude comparative du développement de la teigne de la pomme de terre *Phthorimae aoperculella* (*Lepidoptera : Gelechiidae*) dans la région d'Ain Defla, de Zéralda et de Boumerdes, estimation des dégâts, Th. Mag. ENSA - El Harrach, 85p.
- **Hammi A., 2003 :** Caractérisation des populations de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary dans la région de Saïs, Th. Doc. Univ. Sidi Mohamed Ibn Abdollah, Fes, Maroc, 272p.
- **Hampton M. C., 1992:** Some thoughts on demography of the great potato famine, Plant Diseases 76, 1284-1286p.
- **Harrison J. G. et Lowe R., 1990:** Effects of humidity and air speed on sporulation of *Phytophthora infestans* on potato leaves, Plant Pathology 38, 585-591p.
- **Hayden H. S., Blomster J., Maggs C. A., Silva P. C., Stanhope M. J. et Waaland J. R., 2003:** Linnaeus was right all along, *Ulva* and *Enteromorpha* are not distinct genera, Eur. J. Phycol. 38, 211-294p.
- **Heinz K., 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), 203-207p.
- **Henfling J. W., 1987 :** Le mildiou de la pomme de terre, Bulletin d'information technique, C. I. P, Lima Pérou, 23-30p.
- **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 J. Agricultural and Biological Sciences 5 (3), 380-384p.

- **Hibar K., Daami-Remadi M., Khiareddine H. et El Mahjoub M., 2005:** Effet inhibiteur *in vitro* et *in vivo* du *Trichoderma harzianum* sur *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 9(3), 163-171p.
- **Hmouni A., Hajlaoui M.R. et Mlaiki A., 1996 :** Résistance de *Botrytis cinerea* aux benzimidazoles et aux dicarboximides dans les cultures abritées de tomate en Tunisie, *OEPP/EPPO Bull.* 26, 697–705p.
- **Huesing J., Murdock L.L. et Shade R.E., 1991:** Rice and stinging nettle lectins, insecticidal activity similar to wheat germ agglutinin, *Phytochemistry* 30, II,3565-3568p.
- **Hugouvieux V., Centis S., Lafitte C. et Esquerre-Tugaye M.T., 1997:** Induction by a-L-arabinose and a-L-rhamnose of endopolygalacturonase gene expression in *Colletotrichum lindemuthianum*, *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 2287-2292p.
- **Iauk L., Ragusa S., Rapisarda A., Franco S. et Nicolosi V.M., 1996:** *in vitro* antimicrobial activity of *Pistacia lentiscus* L. extracts, Preliminary report *J. Chemotherapy* 8 (3), 207-209p.
- **Ibarra-Medina V. A., Ferrera-Cerrat R., Alarcón A., Hernández M. E. L. et Valdez-Carrasco Y.J.M., 2010 :** Isolement et criblage de *Trichoderma* souches antagonistes à *Sclerotinia sclerotiorum* et *Sclerotinia minor*, *Rev. Mex. Mic.* 31(6),53-63p.
- **Imelouane B., Amhamdi H., Wathelet J.P., Ankit M., Khedid K. et El Bachiri A., 2009:** Chemical composition of the essential oil of thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco, *Int. J. Agric. Biol.* 11, 205-208p.
- **Inbaraj J.J. et Chignell C.F., 2003:** Cytotoxic Action of Juglone and Plumbagin, A Mechanistic Study Using HaCaT Keratinocytes, *Chemical Research in Toxicology* 17(1), 55-62p.
- **Inglis D.A., Johnson D.A., Legard D.E., Fry W.E. et Hamm P.B., 1996:** Relative resistances of potato clones in response to new and old populations of *Phytophthora infestans*, *J. Plant Dis.* 80, 575-578p.
- **Inouye S., Watanabe M., Nishiyama Y., Takeo K., Akao M. et Yamagushi M., 1998:** Anti-sporulation and respiration inhibitory effect of essential oils on filamentous fungi-*Mycoses* 41, 403-410p.
- **INVA, 2007 :** La culture de la pomme de terre, *Agriculture et développement N°08*, Revue de vulgarisation et de communication éditée par l'INVA, 49-60p.
- **Isaac S., 1992:** *Fungal-Plant Interaction*, Edit. Chapman and Hall, London, 441p.

- **Itako A.T., Schwan-Estrada K.R.F., Júnior J.B.T., Stangarlin J.R., et Cruz M.E.S., 2008:** L'activité antifongique et la protection des plants de tomates par des extraits de plantes médicinales, *Tropical Plant Pathology* 33, 241-244p.
- **Jean F.I., Collin G.J. et Lord D., 1992:** Phytochemistry and biological activities of *Salvia officinalis*, *Perfum Flavor* 17, 35- 36p.
- **Jolivet E., 1969 :** Physiologie de la tubérisation, *Annal de physiologie végétale* 11, 198-199p.
- **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, 12p.
- **Kim DK., Shim CK., Bae DW., Kawk YS., Yang M., Kim HK., 2002:** Identification and biological characteristics of an antifungal compound extracted from cocklebur (*Xanthium strumarium*) against *Phytophthora drechsleri*, *Plant Pathol. J.* 18, 288-292p.
- **Klarfeld S., Rubin A.E. et Cohen Y., 2009:** Pathogenic Fitness of Oosporic Progeny Isolates of *Phytophthora infestans* on Late-Blight-Resistant Tomato Lines, The Mina & Everard Goodman Faculty of Life Sciences, Bar-Ilan University, Ramat-Gan, Israe, The American Phytopathological Society, *Plant Disease* 93 , 947-953p.
- **Koba K., Sanda K., Raynaud C., Nenonene Y. A., Millet J. et Chaumont J. P., 2004 :** Activités antimicrobiennes des huiles essentielles de trois *Cymbopogon* sp. africains vis-à-vis de germes pathogènes d'animaux de compagnie, *Annales de médecine vétérinaire* 148, 202-206p.
- **Kordali S., Cakir A., Zengin H. et Duru M. E., 2003:** Antifungal activities of the leaves of three *Pistacia* species grown in Turkey, *Fitoterapia*, Edit. Elsevier, Amsterdam, *PAYS-BAS* 74(1-2), 164-167p.
- **Kosack K.E. et Parker J.E., 2003:** Deciphering plant-pathogen communication, fresh perspectives for molecular resistance breeding, *Current Opinion in Biotechnology* 14, 177-183p.
- **Kouki S., Saidi N., Ben Rejeb A., Brahmi M., Bellila A., Khiari L., Fumio M., Hassen A., Jedidi N., Downer J. et Ouzari H., 2002:** Control of Fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. *Sp. radicles-lycopersici* using mixture of vegetable and *Posidonia oceanica* compost, *Applied and Environmental Soil Science*, 11 p.

- **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), 203-207p.
- **Kuepper G. et Preston S., 2004** : Solutions biologiques de lutte contre le mildiou de la pomme de terre, NCAT, ATTRA Publication ,12p.
- **Lacey J., 1965**: The infectivity of soils containing *Phytophthora infestans*, Annals of Applied Biology 59, 363-380p.
- **Lacroix M., 1999** : La tomate de serre, une plante hôte pour le mildiou causée par *Phytophthora infestans*, Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, Direction de l'Innovation Scientifique et Technologique, MAPA, Québec, Canada, 11 p.
- **Laftah M., 1997** : Situation phytosanitaire de la pomme de terre dans le Saïs durant la campagne agricole 1996-1997, Th. Doc., E.N.A. Meknès, 121p.
- **Lahaye M., Robic A., 2007**: Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds, Biomacromolecules 8, 1765-1774p.
- **Laidani, M. (2012)** : Pouvoir antifongique *in vivo* des préparations à base de plantes sur *Phytophthora infestans* (mont.) de bary. agent responsable du mildiou de la pomme de terre en Algérie, Th. Mas. Univ Saad Dahleb de Blida, 50p.
- **Laing C., 1998** : Le mildiou de la pomme de terre, Bulletin d'information de la Division de la Gestion des Demandes d'Homologation et de l'Information, Agence de Réglementation de la Lutte Parasitaire, Canada, 96p.
- **Lambion J., Taulet A. et Traentle M., 2006** : Protection phytosanitaire en culture de pomme de terre biologique, Fiche 1, Lutte contre les champignons et les bactéries pathogènes, ITAB, GRAB, Edit. Viniflor, 8p.
- **Latten J., 1994**: Biologische Bekämpfung phytopathogener Pilzmit Hilfe von Pflanzenextrakten, Justus Liebig Univ. Th . PhD., 121p.
- **Lawless J., 1995**: The Illustrated Encyclopedia of Essential Oils, 2nd Edn., Element Books Ltd., Shaftesbury, UK., Australia, 1-85p.
- **Legemble J., 2008** : Le mildiou de la tomate (*Phytophthora infestans*), Fiche Technique du service régionale de la protection des végétaux de haute-Normandie, 4p.
- **M.B.A.R.I., 2001**: Ulva, Marine Botany, Monterey bay aquarium research institute, Kirby, 7p.
- **Maaro E.B., 2010** : Stratégies de lutte contre le mildiou de la pomme de terre, 1 (877), 424-1300p, <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/2010-late-blight.htm>.

- **Madec P., 1966 :** Croissance et tubérisation chez la pomme de terre, Bulletin de la Société Française de Physiologie Végétale 12 ,159-173p.
- **MADR, 2011 :** Services de statistiques des cultures, ministère d'agriculture et de développement rural.
- **Mahanta J.J., Chutia M., Bordoi M., Adhikary R.K., Pathak M.G., et Sharma T.C., 2007:** *Cymbopogon citratus* L. essential oil as a potential antifungal agent against key weed moulds of *Pleurotus* spp. Spawns. J. Flavour and Fragrance 22, 525-530p.
- **Maharjan B.L., Shrestha K. et Basnyat S., 2010:** Botanical Control of Late Blight of Potato, Nepal J. Science and Technology 11, 37-40p.
- **Makhloufi A., Moussaoui A., Lazouni H.A., Hasnat N. et Abdelouahid D.E., 2011:** Antifungal activity of essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. and its impact on the conservation of a local variety of dates during storage, Medicinal Plants - International J. Phytomedicines and Related Industries 3(2), 129-134p.
- **Malajczuk N., 1983:** Microbial antagonism to *Phytophthora* spp., 197 - 217 in *Phytophthora* its biology, taxonomy, ecology and pathology, American Phytopathological Society, St Paul, 392p.
- **Marinkovic B., Marin P.D., knezevic-Vukcevic J.M.D. et Brkic D., 2002:** Activity of essential oils of three Micromeria species (*Lamiaceae*) against micromycetes and bacteria, Phytother.Res.16 (4), 336-339p.
- **Martin J. F., 2004 :** Culture de la pomme de terre de conservation, Arvalis, Institut du végétal, 4-11p.
- **Maxim A., Zagrai I., Zagrai F.A. et andor M., 2005:** Sequences in biological pest control of phytopatogenic agents for apple trees, Contribution botanique, 281-284p.
- **Mehmet M.Ö. et Chalchat J-C., 2008:** Chemical composition and antifungal activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) oil from Turkey 59(7-8), 691-698p.
- **Mekuria T., Steiner U. et Dehne H.W., 2011:** Activity of extracts from tropical and sub-tropical spices and herbs against plant pathogenic fungi, Conference on International Agricultural Research for Development, Univ. Bonn, Allemagne, 9p.
- **Mishra A.K. et Dubey N.K., 1994:** Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities Applied and environmental microbiology 60, 1101-1105p.

- **Mona A.M. et Hussein B.A., 2008:** Cytotoxicity and antimicrobial activity of *Salvia officinalis* L. flowers, Sudan JMS 3(2).
- **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*, Th. Doc. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, France, 177p.
- **Morrissey J.P. et Osbourn A.E., 1999:** Fungal Resistance to Plant Antibiotics as a Mechanism of Pathogenesis, Microbiol. Mol. Biol. Rev. 63(3), 708-24p.
- **Neuhoff D., Klinkenberg H.J. et 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, Proceedings, 197-204p.
- **Newall C.A., Anderson L.A. et Phillipson J.D, 1996:** Herbal Medicines, a Guide for Health-Care Professionals, 2nd Edit., Pharmaceutical Press, London, 296p.
- **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), 46p.
- **Oplachenova G. et Obreshkova D., 2003:** Comparative studies on the activity of basil-an essential oil from *Ocimum basilicum* L. against multidrug- resistant clinical isolates of the genera *Staphylococcus*, *Enterococcus*, and *Pseudomonas* by using different test methods, J. Microbiol. Methods 1785, 1-6p.
- **Osorio E., Flores M., Hernandez D., Ventura J. et Rodriguez R., 2009:** Biological efficiency of polyphenolic extracts from pecan nuts shell (*Carya illinoensis*), pomegranate husk (*Punica granatum*) and creosote bush leaves (*Larrea tridentata* Cov.) against plant pathogenic fungi, Ind. Crops Prod.31,153-157.
- **Oumzil H., Ghoulami S., Rhajaoui M., Ilidrissi A., FkihTetouani S., Faid M. et Benjouad A., 2002:** Antibacterial and antifungal activity of essential oils of *Mentha suaveolens* 16(8), 727-731p.
- **Paitier G., 1980 :** Le mildiou de la pomme de terre, Phytoma (4), 23-27p.
- **Palevitch D. et Yaniv Z., 2009:** Medicinal Plants of the Holy Land, Modan, Tel Aviv, Israel, 51p.

- **Paranagama P. A., Abeysekera K. H. T., Abeywickrama K. et Nugaliyadde L., 2003:** Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citrates* (DC.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link Isolated from stored rice, Letter in Applied Microbio. 37, 86 – 90p.
- **Paulert V., Talamini J.E.F., Cassolato M.E.R., Duarte M.D., Nosedo A., Smania J. et Stadnik M.J., 2009:** Effects of sulfated polysaccharide and alcoholic extracts from green seaweed *Ulva fasciata* on anthracnose severity and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Anthracnosebefall und das Wachstum von Buschbonenpflanzen (*Phaseolus vulgaris* L.), J. Plant Diseases and Protection 116 (6), 263–270p.
- **Peter H., Raven R., Evert F. et Susen E., 2003 :** Biologie végétale, Edit. Boeck, Paris, 968p.
- **Philipeau G., (1986) :** Comment interpréter les résultats d'analyse en composantes principales (ACP), Institut technique des céréales et des fourrages, Edit. Paris, Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), 63 p.
- **Pinto C. M. F., Maffia L. A., Cassali D. W. V. et Cardoso A. A., 1998:** *In vitro* effect of plant leaf extracts on mycelial growth and sclerotial germination of *Sclerotium cepivorum*, J. Phytopathol. 146, 421–425p.
- **Polèse J.M., 2006 :** La culture de la tomate, Edit. Artémis, 95p.
- **Prasad R. et Kapoor K., 2004:** Multidrug resistance in yeast *Candida*, Int. Rev. Cytol. 242, 215–248p.
- **Prashantkumar P., Angadi S.B. et Vidyasagar G.M., 2006:** Antimicrobial activity of blue-green and green algae, Indian J. Pharmaceutical Sciences 68, 647-648p.
- **Radtke W. et Rieckmann W., 1991 :** Maladies et Ravageurs de la Pomme de Terre, Th. Mag, Gelsenkirchen-Bue, Canada, 120p.
- **Radulovi N., Stojanovi G. et Pali R., 2006:** Composition and antimicrobial activity of *Equisetum arvense* L. essential oil, Jean-Claude Rameau et al., Flore forestière française, Région méditerranéenne, Phytother. Res. 20, 85-8p.
- Rameau J. C., Mansion D. et Dumé G., 2008 : Flore forestière française, Région Méditerranéenne Vol. 3 de Flore forestière française, guide écologique illustré, Dominique Mansion, Institut pour le développement forestier, France, Direction de l'espace rural et de la forêt, Edit. Forêt privée française, 2426 p.

- **Rashid A., Ahmad I., Iram S., Mirza J.I. et 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), 881-886p.
- **Rechinger K.H., 1963:** Flora Iranica, Faune des plateaux iraniens et l'encadrement des montagnes, 1st, Akademische Pression Univ. Edit. Graz, Autriche, 1-174p.
- **Regnault R., 2008:** Sauge officinale, J. Serb. Chem. Soc. 615, 28–188p.
- **Robuchon J., 1994 :** Le meilleur et le plus simple de la pomme de terre, Edit. Robert Laffont, 250p.
- **Rohner A., 2002:** Genetic characterization of early-seasonal isolates of *Phytophthora infestans* from Switzerland, Th. Mas., 50p.
- **Rollan M.C., Mónaco C.I. et Nico A., 1999:** Efecto de la temperatura sobre la interacción *in vitro* entre especies de *Trichoderma* y *Sclerotinia sclerotiorum*, *S. minor* y *S. rolfssii*, Investigación Agropecuaria, Productividad y Protección Vegetal 14, 33-48p.
- **Rousselle P., Robert Y. et Grosnier J.C., 1996 :** La pomme de terre, amélioration, ennemis, maladie et utilisation, I.N.R.A. Paris, 607p.
- **Royer M., Houde R. et Stevanovic T., 2010 :** Potentiel de développement lié aux extractibles forestiers, État des connaissances et revue des marchés, volet 1, les extractibles forestiers québécois, 28p.
- **Santelices B. et Ugarte R., 1987:** Algal life-history strategies and resistance to digestion, Mar. Ecol. Prog. Ser. 35, 267-275p.
- **Sattar A. A., Bankova V., Kujungiev A., Galabov A., Ignatova A. et Todorova C., 1995:** Chemical composition and biological activity of leaf exudates from some Lamiaceae plants, Pharmazie 50, 62-65p.
- **Schepers H., 2007:** Late blight in potatoes, Applied Plant Research, Wageningen, 19p.
- **Schwinn F.J. et Margot P., 1991:** Control with chemicals, In Ingram, D.S., Williams, P.H. Edit. Advances in Plant Pathology, *Phytophthora infestans*, the Cause of Potato Late Blight, Vol. 7, Academic Press Limited, San Diego, CA, USA, 225–265p.
- **Sediqui M., Carroll R. B. et Morehart A. L., 1997:** First report from Morocco of *Phytophthora infestans* isolates with metalaxyl resistance, Plant Disease 81, 831p.
- **Selitrennikoff C. L., 2001:** Antifungal proteins. Applied and Environmental microbiology 67, 2883-2884p.
- **Sharma N. et Tripathi A., 2006:** Fungitoxicity of the essential oil of *Citrus sinensis* on post-harvest pathogen, World J. Microbiol. Biotechnol. 22, 587-593p.

- **Shrestha A., 2009:** Potential of a black walnut (*Juglans nigra*) extract product (Nature Cur) as a pre- and post-emergence bioherbicide, *J. Sustainable Agriculture* 33(8), 810-822p.
- **Sikkema J., De Bonte J.A.M. et Poolman B., 1995:** Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons, *Microbiol. Rev.*, 59(2), 201-222p.
- **Smart C. D., Mayton H., Mizubuti E. S. G., Willmann M. R. et Fry W. E., 2000:** Environmental and genetic factors influencing self-fertility in *Phytophthora infestans*, *Phytopathology* 90, 987-994p.
- **Soltner D., 2005 :** Les grandes productions végétales, 20^{ème} édition. Collections Sciences et Techniques agricoles, 472p.
- **Spooner D. M., McLean K. et Ramsay G., 2005:** A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102, 14694-14699 p.
- **Sridhar K.R. et Vidyavathi N., 2006:** Antimicrobial Activity of Seaweeds, *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 19(5), 455–496p.
- **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, 813-823p.
- **Stephan D. et Koch E., 2002:** Screening of plant extracts, micro-organisms and commercial preparations for biocontrol of *Phytophthora infestans* on detached potato leaves, *Bulletin OILB/SROP* 25, 341-394p.
- **Stephan G., Schmitt A., Corvalho S.M., Seddon B. et Koch E., 2005:** Evaluation of biocontrol preparations and plant extracts for the control of *Phytophthora infestans* on potato leaves, *Eur. J. Plant Pathol.* 112, 235-346p.
- **Swiezynski K. M., Chrazanowska M., Domanski L. et Zimonoch-Guzowska E., 2001:** Comparison of resistance evaluation in potato variety assessment, *Potato Research* 44, 25-31p.
- **Sy A.A., 1976 :** Contribution à l'étude de *Pyricularia oryzae* Cav. Recherche *in vitro* d'antagonistes dans une perspective de lutte biologique, Th. Doc.INP Toulouse 534, 236 p.
- **Takeuchi K., Tomita H. et Fujimoto S., 2005:** Antibacterial activity of plant extracts and phytochemicals, *FEM. Microbiol Lett* 243, 347-354p.
- **Taran M., Sharifi M., Azizi E. et Khanahmadi M., 2009:** Antimicrobial Activity of the Leaves of *Pistacia khinjuk*, *J. Medicinal Plants* 6, 81-85p.

- **Tavares A.C., Goncalves M.J., Cavaleiro C., Cruz M.T., Lopez M.C., Cahoto J. et Salgueiro L.R., 2008 :** Essential oil of *Daucus carota* subsp. *Halophilus* Composition, antifungal and cytotoxicity, J. Ethnopharmacol.119, 129-134p.
- **Thurston H. D. et Schltz O., 1981:** Late blight in compendium in potato disease, Edit. Hooker, APS Press Michigan, USA, 40-42 p.
- **Vanstippe M-J., 2005 :** La grande ortie (*Urtica dioica*), Cercles des Naturalistes de Belgique (CNB), Section les sources, 2p.
- **Varma J. et Dubey N.K., 1999:** Prospective of botanical and microbial products as pesticides of Tomorrow, Curr. Sci. 76, 172-179p.
- **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, 516-519p.
- **Veldhuizen E.J., Tjeerdsma-Van Bokhoven J.L., Zweijtzer C., Burt S.A. et Haagsman H.P., 2006:** Structural requirements for the antimicrobial activity of carvacrol, J. Agric. Food Chem.55,1874-1879p.
- **Villarreal-Lozoya J.E., Lombardini L. et Cisneros-Zevallos L., 2006 :** Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] cultivars, Food Chemistry 102, 1241–1249p.
- **Wang S., Wang X., Liu J.I. et Cao K.Q., 2001:** Screening of Chinese herbs for the fungitoxicity against *Phytophthora infestans*, Proceedings of the East and Southeast Asia Linkage Group, Baoding, China, J. Agricultural Univ. of Hebei 24(2),101-107p.
- **Wang W.Q., Ben-Daniel B. H. et Cohen Y., 2004:** Control of Plant Disease by Extracts of *Inula viscosa*, Phytopathology 94, 1042-1047p.
- **Webster D., Taschereau P., Belland R.J., Sand C. et Rennie R.P., 2008:** Antifungal activity of medicinal plant extracts; preliminary screening studies, J. Ethnopharmacology 115,140-146p.
- **Widmark P.O., 2010:** The late blight pathogen, *phytophthora infestans*, th. Doc. Swedish University of agricultural sciences, 69p.
- **Woodham-Smith C., 1962:** The Great Hunger, Ireland 1845-1849, Penguin Ltd., London, Wright, S. Evolution, Selected Papers (W.B. Provine ed.) Univ. Chicago Press, Edit. Reissue, 528p.
- **Xavier G., 2012 :** Guide des plantes indicatrices des milieux forestiers bretons, Forêt bretonne, CRPF Bretagne, 147 p., <http://www.creapharma.ch>.

- **Yanar Y., Kadio lu I., Gökçe A., Demirta I., Gören N., Çam H. et Whalon, M., 2011:** *In vitro* antifungal activities of 26 plant extracts on mycelial growth of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, African J. of Biotechnology 10 (14), 2625-2629p.
- **Yoshimura H., Sawai Y., Tamatsu S. et Sakai A., 2010:** 1, 8-cineole inhibits both proliferation and elongation of BY-2 cultured tobacco cells, J. Chem. Ecol., 1-9p.
- **Younes F., Etahiri S. et Assobhei O., 2009 :** Activité antimicrobienne des algues marines de la lagune d'Oualidia (Maroc), Criblage et optimisation de la période de la récolte, J. of Applied Biosciences 24,1543-1552p.
- **Zarouri W. et Ben ameur 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 en Algérie, Th. Mas. Univ. Saad Dahleb de Blida, 47p.

ANNEXE

Annexe

Composition du milieu petit pois.

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

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

Table de matière

INTRODUCTION	01
Chapitre 1: Données bibliographiques	
1.1 Aperçu sur la culture de pomme de terre.....	03
1.1.1 Description botanique.....	03
1.1.2 Historique.....	04
1.1.3 Exigences culturelles.....	04
1.1.4 Cycle biologique de développement	05
1.1.4.1 Phase de germination	05
1.1.4.2 Phase de tubérisation	05
1.1.4.3 Phase de repos végétatif	05
1.1.5 Importance économique.....	06
1.1.6 Problèmes Phytosanitaires	10
1.2 Généralités sur l'agent phytopathogènes.....	12
1.2.1 Systématique	12
1.2.2 Aspect cultural de <i>Phytophthora infestans</i>	12
1.2.3 Morphologie.....	13
1.2.4 Spécificité parasitaire.....	13
1.3 Généralités sur la maladie.....	14
1.3.1 Historique.....	14
1.3.2 Symptômes	14
1.3.3 Importance économique de la maladie	15
1.3.4 Cycle biologique de la maladie	16
1.4 Lutte contre le mildiou de la pomme de terre	17
1.4.1 Méthodes préventives et prophylactiques	17
1.4.2 Lutte chimique	18
1.4.3 Lutte génétique	18
1.4.4 Lutte biologique	18
1.5 Aperçu sur les plantes médicinales utilisées dans la lutte biologique	19
1.6 Généralités sur les plantes étudiées	20
1.6.1 La grande ortie (<i>Urtica dioica</i> L.)	20
1.6.2 La Menthe a feuilles rondes (<i>Mentha suaveolens</i>)	21

1.6.3 La Posidonie de Méditerranée (<i>Posidonia oceanica</i>)	22
1.6.4 La Prêle (<i>Equisetum arvense</i>)	23
1.6.5 La Sauge (<i>Salvia officinalis</i>)	23
1.6.6 Le Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	24
1.6.7 Pistachier lentisque (<i>Pistacia lentiscus L.</i>)	25
1.6.8 Le Pacanier (<i>Carya illinoensis</i>)	26
1.6.9 L'algue marine du genre <i>Ulva</i>	27

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

2 Introduction	28
2.1 Matériel biologique	28
2.1.1 Matériel végétal	28
2.1.2 Matériel fongique	31
2.2 Méthodologie	32
2.2.1 Préparation des poudres et des extraits aqueux	32
2.2.2 Etude du pouvoir antifongique <i>in vitro</i> des extraits aqueux des végétaux testés à l'égard de <i>Phytophthora infestans</i>	32
2.2.2.1 Inhibition de la croissance mycélienne	33
2.2.2.2 Mycoparasitisme.....	34
2.2.2.3 Inhibition de la sporulation et de la germination	34
2.2.3 Survie des isolats de <i>P. infestans</i> après traitements	35
2.2.3.1 Survie <i>in vitro</i> des isolats de <i>P. infestans</i>	35
2.2.3.2 Survie <i>in vivo</i> des isolats de <i>P. infestans</i>	35
2.3 Analyse statistique.....	37

Chapitre 3 : Résultats et discussion

3.1 Résultats	38
3.1.1 Evaluation de l'inhibition de la croissance mycélienne	38
3.1.1.1 Evaluation de la concentration moyenne inhibitrice (CMI)	41
3.1.2 Mycoparasitisme.....	44
3.1.3 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la sporulation de <i>P.infestans</i>	45
3.1.4 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la germination de <i>P.infestans</i>	49

3.1.5 Evaluation du pouvoir antifongique des extraits étudiés sur la survie <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> de <i>P. infestans</i>	52
3.1.6 Evaluation de la concentration inhibitrice fongicide (CIF).....	63
3.1.7 Analyse globale des résultats obtenus.....	66
3.2 Discussion.....	67
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE	