



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département de Microbiologie

قسم الميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie Fongique

Intitulé

La Lutte Biologique Contre Le Mildiou De La Pomme De Terre

Préparé par :

Déposé le : 18 /09/ 2020

- SEBTI RACHA
- BOUDEFA NOUR EL HOUDA

Jury d'évaluation :

- | | | |
|----------------|----------------------|--------------------------|
| Présidente : | Dr. BENKAHOUL Malika | (MCB – UFM Constantine). |
| Examinatrice : | Dr. MERGOUD Lilia | (MAA – UFM Constantine). |
| Rapporteur : | Dr. ALMI Hiba | (MCB – UFM Constantine). |

Année universitaire :
2019-2020

Remerciements

*Avant tout, Nous tenons à remercier Allah
Pour nous avoir inspiré la volonté et Le courage d'acheminer ce travail
jusqu'à la fin. C'est grâce à lui que nous sommes arrivées
À achever notre mémoire.*

*Nous tenons à remercier tout d'abord Notre encadreur: Mme ALMI Hiba
Pour ces précieux Conseils et orientations qu'elle nous a prodigués
Tout le long de notre travail de recherche.*

*Nos remerciements s'adressent aussi aux Mme MERGOUD Lilia
Pour l'intérêt qu'elle nous a accordé d'examiner
Notre mémoire, et Mme BENKAHOUL Malika
Pour nous avoir honoré de présider le jury de soutenance.*

*Nous tenons aussi à remercier
Tous les enseignants, les responsables et les agents
Du Département de microbiologie de l'Université Mentouri Constantine
Sans exception.*

*Nos sincères remerciements et notre profonde gratitude
S'adressent à nos parents et tous les membres de nos familles
Et à la fin. Nous remercions nos collègues, nos amies et toutes
Les personnes, qui de près ou de loin, ont contribué
À la réalisation de ce travail ♥*

RACHA ET NOUR



Dédicaces

Je dédie

A ma mère (Nadia) ♥ source d'affectation de courage

Et d'inspiration qui a autant sacrifié

Pour me voir atteindre ce jour,

A mon père (Ismail) ♥ source de respect,

En témoignage de ma profonde reconnaissance pour

Tout l'effort et le soutien incessant

Qui m'a toujours apporté.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect.

Mon amour éternel ♥ et ma considération

Pour les Sacrifices que vous avez consenti pour mon

Instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour Tout le soutien et l'amour ♥

Que vous me portez Depuis

Mon enfance et j'espère

Que Votre bénédiction m'accompagne toujours ♥.

A mon frère (Naoufel)

*A mes adorables sœurs (Sarah) et (Rym) ♥ Pour leur
Assistance et soutien moral Et surtout leur encouragement*

A mes chers neveux (Yanice) et (Adem)

Et ma petite nièce adorée (Anaïs) ♥

A toutes mes tantes et mes 2 chères cousines (Hania)

Et (Abir) ♥ Qui m'ont toujours supporté.

A toute la famille Sebti et Daoud ♥

A tous mes collègues du département de microbiologie.

Une spéciale dédicace à mes ami(e)s :

Meysoun.L , Marwa.A ♥ , Mayssa.K, Lyna.T,

Malak.K, Nahla.D ♥ Ahlem.B , Chaima.D , Amine.AB

Nasro.B, Djalil. L, wassim.T, Idris.T.

A mon binôme et ma très chère amie Nour El Houda

Pour ses mots doux, son bonne humeur ♥

Et surtout son encouragement.

Merci beaucoup ♥

SEBTI RACHA



Dédicaces

Je dédie

A MES CHERS PARENTS avec tout mon amour ♥

*Je dédie ce travail en premier à **mon père Messaoud** .*

Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement

Jusqu'à ce jour, pour son amour ♥ et ses encouragements.

Retrouves père dans ce simple travail la force que

Tu m'as transmise et récoltes

Aujourd'hui le fruit du gain que tu as semé hier.

Que Dieu te bénisse.

A ma chère mère Yasmine ♥

Par la grande bonté envers tes enfants, sans te plaindre

Tu ne cesses de donner sans attendre recevoir en retour ;

Tu ne diffères guère du soleil qui transmet Généreusement

et infiniment sa douce chaleur. A toi qui m'avais suivi et

Aidée Tout au long de mes études avec

♥ Ton Amour et ta généreuse tendresse qui

M'illuminent la vie.

Que dieu te protège et te garde pour ♥

*A mon frère Mohammed Lamine, et bien sur mes sœurs
Meriem, Amel, Imene ♥ qui ont une place spéciale dans mon
cœur pour l'amour, les encouragements et Le soutien
que vous m'avez toujours exprimés
A ma nièce Rassil, ma petite puce adorée ♥
A mes chères nièces et neveux Taha , Anis , Salsabife ,
Abd El Rahmane , Hiba , Bahaa et Yasser mon amour ,
Mon attachement pour vous est sans limite. ♥*

*A mes amis, Dounia A , Youssra F, Meysoune L , Chaima D ,
Maissa K Roumeissa K Issam D , Chouaib A , Hilel M
En particulier a Mon binôme Racha ♥
une sœur qui m'a toujours compris
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour
que ce projet soit réalisé, je vous dis merci ♥*

*Boudefa Nour
El Houda*

Résumé

La lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre

Le mildiou de la pomme de terre est une maladie mondiale répandue dans toutes les zones de culture de la pomme de terre. ses épidémies sont causées par la récurrence et la juxtaposition du cycle infectieux l'agent responsable de cette maladie est le *Phytophthora infestans*, résistant aux fongicides systémiques, il est connu sous le nom de destructeur des plantes, car il s'attaque à tous les organes de la plante (feuilles, pétioles, tiges, jeunes pousses, bouquets terminaux et tubercules), il provoque des épidémies aériennes qui peuvent détruire les cultures en deux semaines si les conditions climatiques sont favorables.

Dans le cadre de la recherche des différentes méthodes alternatives contre cette maladie, cette étude est portée sur la lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre, on se basant sur l'activité antagoniste de quelques isolats du genre *Trichoderma*, sachant qu'il a une efficacité dans l'inhibition des organisme pathogène.

Par ailleurs, les analyses moléculaires de quelques souche de *Trichoderma*, ont affirmé un potentiel antagoniste très intéressant et peuvent être préconisés comme agents de lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre, selon différents modes d'application.

Mots clés : Mildiou de la pomme de terre, *Phytophthora infestans*, Lutte biologique, L'activité antagoniste, *Trichoderma*.

Abstract

Biological control against potato late blight.

Potato late blight is a worldwide disease prevalent in all potato growing areas. its epidemics are caused by the recurrence and the juxtaposition of the infectious cycle the agent responsible for this disease is *Phytophthora infestans*, resistant to systematic fungicides, it is known by the name of plant destroyer, because it attacks all organs of the plant (leaves, petioles, stems, young shoots, terminal bouquets and tubers), it causes aerial epidemics which can destroy crops in two weeks if the weather conditions are favorable. Within the framework of the research of the different alternative methods against this disease, this study is focused on the biological fight against the downy mildew of the potato,, based on the antagonistic activity of some isolates of the genus *Trichoderma*, knowing that it has an effectiveness in the inhibition of pathogenic organism.

In addition, molecular analyzes of a few *Trichoderma* strains have confirmed a very interesting antagonistic potential and can be recommended as biological control agents against potato late blight, according to different modes of application.

Keywords: Potato downy mildew, *Phytophthora infestans*, Biological control, Antagonistic activity, *Trichoderma*.

المكافحة البيولوجية ضد البياض الزغبي لنبات البطاطا

البياض الزغبي لنبات البطاطا هو مرض عالمي منتشر في جميع مناطق زراعة البطاطا ، أوبئة هذا المرض سببها تكرر و تقارب دورة العدوة . العامل المسؤول عن هذا المرض هو *Phytophthora infestans* ، المقاوم للمبيدات المنهجية ، و يعرف بإسم مدمر النباتات ، لأنه يهاجم جميع أعضاء النبتة (أوراق ، أعناق ، سيقان ، براعم صغيرة ، باقات و درنات طرفية) ، يسبب أوبئة هوائية التي يمكنها أن تدمر المحاصيل في غضون أسبوعين إذا كانت الظروف المناخية ملائمة . في إطار البحث عن الطرق البديلة المختلفة ضد هذا المرض ، تم إجراء هذه الدراسة على الكفاح البيولوجي ضد البياض الزغبي لنبات البطاطا ، بناءا على النشاط العدائي لبعض العزلات من جنس الفطر *Trichoderma*، مع العلم أن له فعالية في تثبيط الكائنات المسببة للأمراض . بالإضافة إلى ذلك ، التحاليل الجزيئية لبعض سلالات *Trichoderma* أكدت إمكانات عدائية جد معتبرة ، و يمكن التوصية بها كعوامل للمكافحة البيولوجية ضد البياض الزغبي لنبات البطاطا ، وفقا لمختلف أنماط التطبيق.

الكلمات المفتاحية :

البياض الزغبي لنبات البطاطا ، *Phytophthora infestans* ، المكافحة البيولوجية ، النشاط العدائي ، *Trichoderma*.



Résumé

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction..... 1

Chapitre(01) : généralités sur la pomme de terre

1 Histoire et origine de pomme de terre 4

2 Description botanique..... 4

 2.1 Classification taxonomique 5

3 Description morphologique 5

 3.1 Partie aérienne 5

 3.1.1 Tiges 6

 3.1.2 Feuilles..... 6

 3.1.3 Fleurs 7

 3.1.4 Fruits..... 8

 3.1.5 Graines..... 8

 3.2 Partie souterraine 8

 3.2.1 Racines..... 8

 3.2.2 Stolons 9

 3.2.3 Tubercules..... 9

 3.2.3.1 Caractéristiques du tubercule..... 10

4 Physiologie et cycle de développement..... 11

 4.1 Cycle sexué..... 11

 4.2 Cycle végétatif..... 11

 4.2.1 Dormance (repos végétatif) 11

 4.2.2 Germination 12

 4.2.3 Tubérisation 12

5	Variétés et classement de la pomme de terre.....	13
5.1	Selon la durée du cycle végétatif.....	13
5.2	Selon l'utilisation.....	13
5.3	Comparatif des variétés.....	14
6	Les facteurs écologiques de la production de la pomme de terre.....	19
6.1	Facteurs climatiques	19
6.1.1	Température	19
6.1.2	Lumière.....	19
6.2	Les facteurs édaphiques	19
6.2.1	Sol.....	19
6.2.2	PH.....	20
6.2.3	Salinité	20

Chapitre(02): les maladies de la pomme de terre

1	La cause de la maladie.....	22
2	Les différentes maladies	22
2.1	Les maladies cryptogamiques	23
2.2	Les maladies bactériennes.....	25
2.3	Les maladies virales.....	26
3	Le mildiou.....	27
3.1	Histoire.....	27
3.2	Description de la maladie.....	28
3.3	Cycle de développement	28
3.4	Sources d'infection	29
3.5	Les symptômes	30
3.5.1	Sur la feuille.....	31
3.5.2	Sur la tige.....	31
3.5.3	Sur le tubercule	32
3.6	Biologie.....	33
3.7	Évaluation du mildiou au champ.....	33
3.8	Utilisation comme arme biologique	34
4	L'étude de l'agent pathogène :.....	34

4.1	Phytophthora.....	34
4.2	<i>Phytophthora infestans</i>	35
4.2.1	Origine et migration	35
4.2.2	Classification.....	35
4.2.3	Biologie de <i>Phytophthora infestans</i>	36
4.2.3.1	Description morphologique.....	36
4.2.3.2	Aspect cultural de <i>Phytophthora infestans</i>	37
4.2.3.3	Gamme d'hôtes.....	37
4.2.4	Cycle biologique.....	38
4.2.4.1	Reproduction sexuée.....	38
4.2.4.2	Reproduction asexuée.....	39
4.2.5	L'influence de certains facteurs sur la croissance mycélienne et la sporulation chez <i>Phytophthora infestans</i>	40
4.2.5.1	Les facteurs trophiques.....	40
4.2.5.2	Les facteurs climatiques.....	40

Chapitre(03): la lutte contre le mildiou

1	Les méthodes de la lutte	42
1.1	La lute prophylactique	42
1.2	La lutte chimique	42
1.3	La lutte génétique	44
1.4	La lutte biologique	44
1.5	Les alternatives au cuivre.....	45
2	La lutte biologique	46
2.1	Définition	46
2.2	Lutte biologique par <i>Trichoderma</i>	46
2.2.1	Généralités sur <i>Trichoderma</i>	47
2.2.2	Taxonomie	47
2.2.3	Distribution écologique	49
2.2.4	Importance des <i>Trichoderma</i>	49
2.2.5	Biocontrôle par <i>Trichoderma</i>	49
2.3	Lutte biologique par <i>Pseudomonas</i>	50
2.3.1	Généralités sur <i>Pseudomonas</i>	50

2.3.2	Taxonomie	51
2.3.3	Distribution écologique	52
2.3.4	Importance des <i>Pseudomonas</i>	52
2.3.5	Biocontrôle par <i>Pseudomonas</i>	53
2.4	Mécanisme d'action des microorganismes antagonistes	53
2.4.1	L'antibiose et la production d'antibiotique	54
2.4.2	Parasitisme et production des enzymes	54
2.4.3	Induction des systèmes de résistance de la plante hôte.....	55
2.4.4	La compétition	55
3	Des conseils pour lutter contre le mildiou	55
3.1	Respecter les mesures prophylactiques et bien implanter la culture (état sanitaire des plantes).....	55
3.2	Traiter au meilleur moment avec un pulvérisateur parfaitement réglé (vérifier la qualité de la pulvérisation)	56
3.3	Le buttage :.....	57
3.4	Choisir le fongicide le mieux adapté à chaque situation :.....	57
3.5	Les mesures à prendre avant et après la récolte :	57
	Conclusion	59
	Références bibliographiques	61



Liste des tableaux

Tableau 1: Classification taxonomique de la pomme de terre.....	5
Tableau 2: Description de la variété ADRIANA	14
Tableau 3: Description de la variété AGATA	14
Tableau 4: Description de la variété ANNABELLE.....	15
Tableau 5: Description de la variété ANAÏS	15
Tableau 6: Description de la variété BELLE DE FONTENAY	16
Tableau 7: Description de la variété CHÉRIE	16
Tableau 8: Description de la variété LADY ROSETTA.....	17
Tableau 9: Description de la variété MONALISA	17
Tableau 10: Description de la variété RATTE.....	18
Tableau 11: Description de la variété SPUNTA	18
Tableau 12: Description de la variété VITELOTTE.....	19
Tableau 13: La cause et les symptômes des maladies cryptogamiques	23
Tableau 14: La cause et les symptômes des maladies bactériennes	25
Tableau 15: La cause et les symptômes des maladies virales	26
Tableau 16: L'évaluation du milieu au champ	34
Tableau 17: Classification taxonomique de <i>Phytophthora infestans</i>	36
Tableau 18: Classification taxonomique de Trichoderma.....	48
Tableau 19: Classification des Pseudomonaceae selon Palleroni et Doudoroff	51
Tableau 20: Classification taxonomique de Pseudomonas	52



Liste des figures

Figure 1: La diffusion de la pomme de terre à travers le monde	4
Figure 2: Les feuilles composées de la pomme de terre	7
Figure 3: Inflorescence et fleurs de <i>Solanum tuberosum</i> L	7
Figure 4: Fruit de <i>Solanum tuberosum</i> L	8
Figure 5: Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre.....	9
Figure 6: Les différentes formes des tubercules de pomme de terre.....	10
Figure 7: Principaux organes extérieurs du tubercule de pomme de terre	11
Figure 8: Cycle de vie de la pomme de terre.....	12
Figure 9: Localisation sur la plante, des principales maladies de la pomme de terre	22
Figure 10: Culture de pomme de terre détruite par le mildiou	28
Figure 11: Le cycle de développement du mildiou de pomme de terre	29
Figure 12: Tas de déchets non gérés, principale source d'inoculum	30
Figure 13: Un champ de pomme de terre infesté par le mildiou.....	31
Figure 14: Une feuille de pomme de terre infectée par le mildiou.	31
Figure 15: Une tige d'une plante de pomme de terre infectée par le mildiou	32
Figure 16: Un tubercule infecté par le mildiou.	32
Figure 17: Biologie du mildiou.	33
Figure 18: Sporangies et sporangiophores de <i>Phytophthora infestans</i> (Grossissement X 80).....	37

Figure 19: Isolat de <i>Phytophthora infestans</i> en culture sur milieu gélosé à base de petit pois (Photographie INRA – R. Corbière).....	37
Figure 20: Cycle biologique du mildiou de la Pomme de terre et de la Tomate par <i>Phytophthora infestans</i>	38
Figure 21: Oospore de <i>Phytophthora infestans</i> colorée au bleu Coton et observée au microscope au grossissement 1000 (Photographie INRA – R. Corbière)	39
Figure 22: Des déchets organiques.	42
Figure 23: INFINITO est un fongicide préventif, translaminaire.	43
Figure 24: Évaporation des fongicides sur un champ de pomme de terre.....	44
Figure 25: Gouttelettes de mildiou appliqué sur les feuilles de la pomme de terre après la réalisation de traitement.....	46
Figure 26: Culture du <i>Trichoderma</i> dans une boîte de pétrie	47
Figure 27: Les 5 sections systématiques du genre <i>Trichoderma</i> spp, selon.....	48
Figure 28: Régulation De La Morphogenèse Et Des Propriétés De Biocontrôle Dans <i>Trichoderma</i>	50
Figure 29: <i>Pseudomonas</i> sous microscope.....	51
Figure 30: Mécanisme d'action des <i>Trichoderma</i> sp.	53
Figure 31: Phénomène de mycoparasitisme du <i>Trichoderma</i>	54

Liste des abréviations

% :	Pourcent.
ADN :	Acide désoxyribonucléique.
ARN :	Acide ribonucléique.
BF-15 :	Belle de Fontenay.
C° :	Degré Celsius.
CIP :	Centre internationale de la pomme de terre.
FAO :	Food and Agriculture.
h :	heure.
ha :	Hectare.
H2O2 :	Peroxyde d'hydrogène.
ISR :	Resistance systématique induite.
N° :	Numéro.
N-acyl-L-homosérine :	N-acyl Homosérine lactone.
P.cinnamomi :	phytophthora cinnamomi
PGPR :	The plant growth promoting Rhizobacteria
PH :	Potentiel hydrogène.
P.infestans :	Phytophthora infestans.
Rapport C/N :	Rapport Carbone sur azote.
T.harzianum :	Trichoderma harzianum.
T.viride :	Trichoderma viride.
µm :	micromètre
USA :	United State of America.
ZNT:	zone non traitée.

Introduction

Introduction

Parmi les produits agricoles de base, la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), occupe une place prépondérante dans les régimes alimentaires de nombreux pays. 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 (FAO, 2012).

Il n'existe pas un aliment plus courant que cette espèce qui renferme 80 % d'eau, 2 % de protéines et 18 % d'amidon aussi riche en vitamines B, et en vitamine C. Elle est une source importante de glucides, qui se présentent principalement sous forme de féculé.

Grâce à elle, des milliers de personnes ont été sauvées de la famine dans le passé. De plus, elle joue un rôle essentiel dans l'économie mondiale actuelle, elle est originaire de l'Amérique du sud, elle est apparue sur les hauts plateaux des Andes péruviennes et colombiennes, en suite elle arrivé en Europe en sixième siècle, elle à été cultivé en Algérie en dix-neuvième siècle.

En Algérie, son utilisation en alimentation humaine, en plus de sa valeur énergétique élevée comparée à d'autres aliments, en fait qu'elle soit le légume le plus recherché au niveau de nos marchés.

En culture, la pomme de terre fait l'objet d'attaques de plusieurs agents phytopathogènes et ravageurs notamment des champignons, des bactéries, des virus et des nématodes, pouvant soit occasionner des pertes sévères de rendement, soit détériorer la qualité des productions (Mulder et Turkensteen, 2005). En effet, le mildiou ou brulure tardive de la pomme de terre, causée par l'oomycète *Phytophthora infestans* Mont de Bary., est considérée comme la maladie la plus redoutable sur la culture de pomme de terre. La première apparition de cette maladie était en Irlande en 1845-1846 (Andrivon, 1996 ; Fry et al., 1993, Fry et Goodwin, 1997). Les souches agressives de l'agent causal de cette maladie, la plupart résistantes aux fongicides systémiques courants.

Jusqu'à présent, la lutte chimique reste le moyen de contrôle le plus utilisé contre le mildiou de la pomme de terre, classant la culture parmi celles utilisant le plus de fongicides (Rakotonindraina, 2012). En effet, la lutte contre le mildiou de la pomme de terre repose essentiellement sur l'utilisation par alternance de fongicides de contact et d'autres systémiques selon les conditions climatiques. Cependant, l'utilisation des fongicides a rencontré plusieurs contraintes qui s'expliquent aussi bien par leur coût élevé, que par leurs effets néfastes sur l'environnement et sur la santé des consommateurs.

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, par la recherche de méthodes alternatives à la lutte chimique (Bekepe et al., 2006). Dans ce sens, les travaux de recherche se sont orientés sur les dérivés des plantes et leurs métabolites secondaires à pouvoir antifongique. Leur application possible dans l'agriculture est intensifiée en développant la recherche moderne en agrochimie (Costa et al., 2000 ; Negi et al., 2005). L'aromathérapie s'avère une voie intéressante pour

Introduction

la phytoprotection où de nombreux extraits de plantes se sont affirmés efficaces pour leurs propriétés antibactériennes, antifongiques et insecticides. Des produits naturels isolés de ces végétaux semblent être l'une des alternatives de produits chimiques et surtout qu'on connaît qu'ils n'ont aucun impact sur l'environnement et sur l'homme (Varma et Dubey, 1999). Dans ce contexte, des travaux ont porté sur l'activité antifongique contre *P. infestans* (Rashid et al., 2004 ; Krebs et al., 2006). En parallèle, de nombreux agents fongiques et bactériens ont été largement utilisés dans la lutte biologique contre de nombreux agents phytopathogènes (Sharma et Pandey, 2009).

Certaines espèces de *Trichoderma* ont été évaluées pour leur potentiel antagoniste et hyperparasite ainsi que quelques espèces de *Pseudomonas* (Harman et al., 2004). Elles ont été utilisées contre un large spectre d'agents phytopathogènes. Leur antagonisme se manifeste généralement par une compétition, un mycoparasitisme ou encore par une antibiose.

L'objectif de ce travail est de proposer la recherche de méthodes pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre causé par *Phytophthora infestans*, en se basant sur la lutte biologique et l'utilisation des antagonistes fongiques du genre *Trichoderma*. Ce travail est structuré en une seule partie qui représente trois chapitres :

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA POMME DE TERRE

CHAPITRE 2 : LES MALADIES DE POMME DE TERRE

CHAPITRE 3 : LA LUTTE CONTRE LE MILDIOU.

Chapitre(01):

GENERALITÉS SUR LA POMME DE TERRE



1 Histoire et origine de pomme de terre

Solanum tuberosum, la pomme de terre, Elle est originaire d'Andes, semble avoir spontanément pris naissance dans les pays andins, commence avec celle des Amérindiens qui vivaient il y a plus de 10 000 ans dans la zone côtière de l'actuel Pérou et au sud-ouest de l'Amérique latine.

1570 : Elle est introduite en Espagne sous le nom de « patata » et les Italiens la prénomment « taratoufli » (petite truffe). Après, la pomme de terre se propage en Allemagne et en Suisse puis dans l'Est de la France.

À partir de 1618 : Si elle s'implante assez rapidement dans la plupart des pays d'Europe, si l'on peut dire à la guerre de Trente Ans qui les ravage à partir de 1618.

Avec la famine de 1789, la culture de la pomme de terre se généralisa pour devenir un produit de base de notre alimentation, son implantation ne fait ensuite que progresser en France et en Europe, puis dans le monde entier. Au 19^{ème} siècle : d'un légume de jardin, la pomme de terre devient une grande culture. Sa production passe de 1,5 million de tonnes en 1803 à 11,8 millions en 1865. Elle augmente progressivement jusqu'à atteindre plus de 16 millions de tonnes à la fin des années 30. Selon ISNART (1972), la pomme de terre arriva en Algérie en 1956, rapporté par l'Amirouche (Lanutrition.fr, 2010).

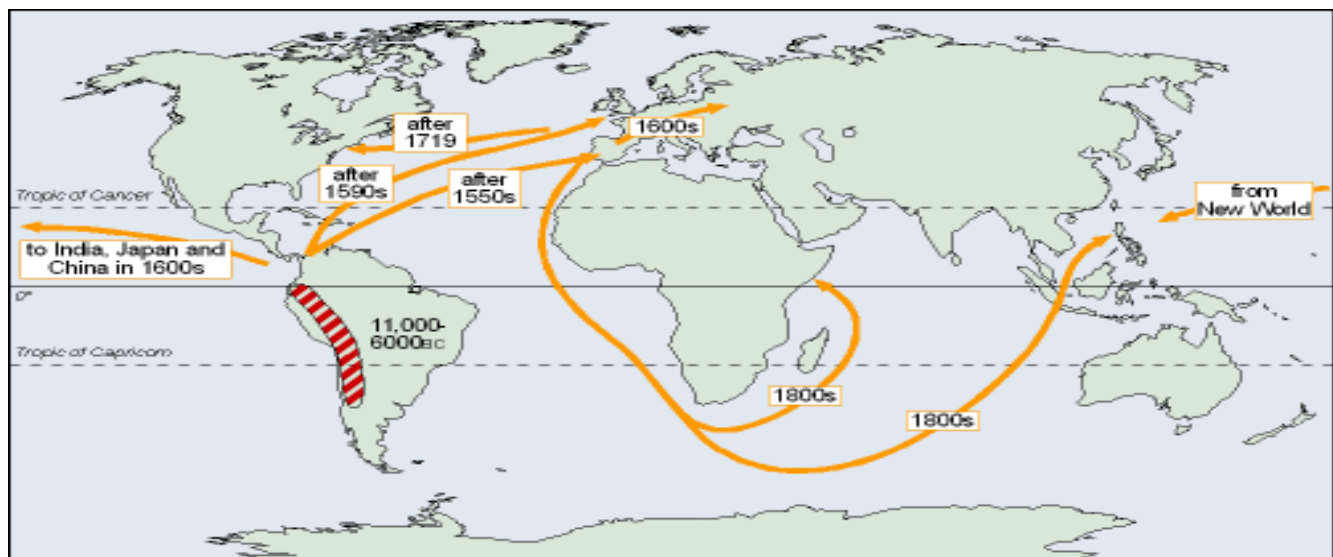


Figure 1: La diffusion de la pomme de terre à travers le monde (Fao, 2016).

2 Description botanique

La pomme de terre connu sous le nom scientifique *Solanum tuberosum* L est une plante sauvage unique , herbacée et vivace par ces tubercules (tubéreuse) mais cultivée en culture annuelle le plus souvent (Rousselle *et al.*, 1996). la pomme de terre , en tant que le genre *Solanum* appartenant à la famille des solanacées, il comprenait plus de 2000 espèces, dont huit espèces étaient utilisées en culture : *Solanum stenotomum* , *Solanum phureja* , *Solanum ajanhuiri* , *Solanum goniocalyx* , *Solanum*

chaucha , *Solanum juzepczukii* , *Solanum curtilobum* , *Solanum tuberosum L* . Parmi ces espèces , seule *Solanum tuberosum* est cultivée dans le monde entier et dans une zone climatique modérée (Huamán, 1980; Lisinska & Leszczynski, 1989).

2.1 Classification taxonomique

Selon la classification de Bourget (1998), la pomme de terre appartient au :

Tableau 1: Classification taxonomique de la pomme de terre

Règne	Métaphytes
Embranchement	Spermatophytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Ordre	Gamopétales
Famille	Solanacées
Tribu	Solanées
Genre	<i>Solanum L</i>
Espèce	<i>Solanum tuberosum L</i>

3 Description morphologique

La pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) est une plante dicotylédone à fleurs gamopétales dont la plupart sont cultivées pour l'alimentation humaine La plante comporte à la fois des tiges aériennes et des tiges souterraines (DARPOUX et DEBELLEY, 1967 ; Rousselle *et al.*, 1996). Les caractères morphologiques que nous allons examiner sont influencés par les conditions climatiques et les techniques culturales , donc il est intéressant de signaler que la variabilité morphologique est considérable entre et dans les espèces cultivées (Huamán, 1980).

La plante est constituée de deux parties :

3.1 Partie aérienne

L'appareil aérien de la pomme de terre comprend un nombre plus ou moins élevé de tiges principales aériennes qui se développent sur chaque tubercule. D'abord, Ces tiges sont dressées mais avec l'âge peuvent rester dressées ou peuvent se coucher, donnant à la plante un port plus étalé. Par

exemple , la variété BF15 reste dressée alors que la ratte se tombe sur le sol (Polese, 2006; Rousselle *et al.*, 1996).

3.1.1 Tiges

Les tiges aériennes sont au nombre de 2 à 10, elles sont succulentes, herbacées de port variable selon les espèces qui peut être du type rampant ou dressé ou encore redressé dans le cas où les tiges sont rampantes dans le sol mais redressées à l'apex, et encore les types érigés et semi-érigés. En coupe transversale, les tiges possèdent des formes rondes à anguleuses avec des entre-nœuds pleins à la base mais qui deviennent creux lorsque la tige est complètement développée. Aux bords anguleux, des ailes ou cotes sont souvent formés et peuvent être peu ou très développées, généralement simples, droites, rectilignes, ondulées ou dentées.

La couleur de la tige est généralement verte ; parfois elle soit brunâtre ou rouge- brun ou encore pourpre du fait de pigments anthocyanés présents sur toute la longueur de la tige ou seulement au niveau de certaines portions comme la base, les nœuds ou les entre-nœuds. Les tiges peuvent être solides ou partiellement creuses en raison de la désintégration des cellules de la moelle. Elles portent des feuilles , les bourgeons axillaires des feuilles peuvent pousser pour former des tiges latérales , des stolons et des inflorescences(Huamán, 1980; Rousselle *et al.*, 1996)

3.1.2 Feuilles

Les feuilles sont alternes et disposées en spirale sur la tige, elles sont composées c'es-à-dire constituées d'une nervure médiane ou centrale appelée « rachis » et de plusieurs folioles, dans un autre sens, les feuilles sont divisées en 7 à 15 folioles. Chaque rachis peut porter plusieurs paires de folioles primaires latérales et se termine par une foliole terminale unique. les folioles peuvent être rattachées directement sur le rachis et prennent le terme sessiles, ou par de petites tiges et dans ce cas elles sont pétiolules. La séquence régulière de ces folioles primaires peut être interrompue par de petites folioles intermédiaires. Le pétiole est la partie du rachis située sous la première paire de folioles primaires. A la base du pétiole, la taille et la forme de deux petites feuilles latérales (stipules ou feuilles pseudo stipulaires) , ainsi que l'angle d'insertion du pétiole sur la tige , sont des caractéristiques variétales facilement reconnaissables . A partir du point d'insertion , les ailes ou cotes peuvent se prolonger vers le bas de la tige (Huamán, 1980; Rousselle *et al.*, 1996).



Figure 2: Les feuilles composées de la pomme de terre (Bengeugga & Boukhezza, 2019)

3.1.3 Fleurs

La fleur de pomme de terre est bisexuée, actinomorphe et pentamère. Elle possède une couleur variable du blanche au plus foncée : bleutées, violettes ou rouge-violacé .Cette fleur, comme toutes les plantes de la famille des solanacées, est portée par un pédicelle et possède les quatre parties essentielles d'une fleur : le calice, la corolle, l'androcée (les organes males) et le gynécée (les organes femelles), le calice à 5 sépales soudés à leur base, forme une structure en forme de cloche sous la corolle. Il est gamosépale et peut être vert ou pigmenté. La corolle, à 5 pétales également soudés à leur base, forme un tube court et une surface plate à 5 lobes à la suite, chaque lobe se termine par un acumen. Elle peut être blanche, bleu ciel, bleue, rouge ou pourpre. L'androcée est composé de 5 étamines alternant avec les pétales, chaque étamine comprend une anthère et un filet qui sont soudés au tube de la corolle. Les anthères sont accolée formant une colonne conique qui entoure le pistil et ils possèdent une couleur varie du jaune clair à l'orange foncé. Le gynécée de la fleur est constitué d'un seul pistil qui est composé d'un ovaire contenant de plusieurs ovules, du style et d'un stigmate. La fleur reste toujours autogame, elle ne produit pas de nectar et n'est pas visitée par les insectes pollinisateurs (Huamán, 1980; Rousselle *et al.*, 1996).



Figure 3: Inflorescence et fleurs de *Solanum tuberosum* L (Bourget,1998)

3.1.4 Fruits

Le fruit ou baie, est généralement de forme sphérique de 1 à 3 centimètre de diamètre et peut être ovoïde ou conique chez certains cultivars. Il est de couleur verte ou brun violacé, jaunissant à maturité, cette couleur est variable selon les variétés .il est a noter qu'il y a des fruits qui ont des taches blanches ou pigmentées ou des bandes ou zones pigmentés. Les fruits sont rares, ils n'apparaissent jamais chez les variétés ' Bintje et Apollo ' et sont rares chez ' sirtema ' . Ils sont très toxiques (Huamán, 1980; Polese, 2006).



Figure 4: Fruit de *Solanum tuberosum* L (Zell, 2009)

3.1.5 Graines

Le nombre de graines par fruit atteint plus de 200 selon la fertilité du cultivar particulier. Les graines sont petites, ovales, réniformes et plates avec un petit hile indiquant leur point d'attache sur l'ovaire. Ces graines baignent dans une pulpe mucilagineuse provenant de la transformation de l'endocarpe du fruit. Ils sont également appelées graines vraies ou botaniques (Huamán, 1980).

3.2 Partie souterraine

L'appareil souterrain est la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. Elle comprend le tubercule mère desséché, les stolons (tiges souterraines diagéotropes) portant éventuellement des tubercules fils dans leur région subapicale ainsi que de nombreuses racines adventives (Rousselle *et al.*, 1996).

3.2.1 Racines

Les plantes de pomme de terre peuvent se développer à partir de graines ou de tubercules. Lorsqu'elles se développent à partir de graines elles forment une racine pivotante mince avec des racines latérales. Celles qui germent à partir des tubercules forment des racines adventives à la base de chaque germe et ensuite au-dessus des nœuds enterrés des tiges feuillées. Le type du système racinaire

varie de léger et superficiel à fibreux et profond (Huamán, 1980). Les racines qui sont adventives et fasciculées prennent naissance sur différentes parties: au niveau des nœuds enterrés des tiges feuillées, au niveau des nœuds des stolons, ou encore au niveau des yeux du tubercule (Rousselle *et al.*, 1996).

3.2.2 Stolons

Les stolons de la pomme de terre, ou rhizomes sont des tiges latérales courtes qui se développent horizontalement à partir les bourgeons de la partie souterraine des tiges .Les stolons sont diagéotropes à entre-nœuds longs et des feuilles réduites à des écailles disposées en spirale, ils apparaissent normalement aux nœuds basaux, enterrés, des tiges. Les stolons peuvent éventuellement produire des tubercules suite au renflement de leurs extrémités (Huamán, 1980; Rousselle *et al.*, 1996; Soltner,1979) .

3.2.3 Tubercules

Le tubercule de la pomme de terre n'est pas une portion de la racine, mais il est une tige souterraine modifiée. Un tubercule a deux extrémités dont le talon est rattaché au stolon, et à l'opposé de se trouve l'extrémité apicale ou le distale ou couronne. L'importance des tubercules est indiquée par le fait que 75-85% de la matière sèche totale produite par la plante s'y accumulent. Ils sont en fait des organes gorgés de substances de réserve (Harris, 2013 ; Huamán, 1980).

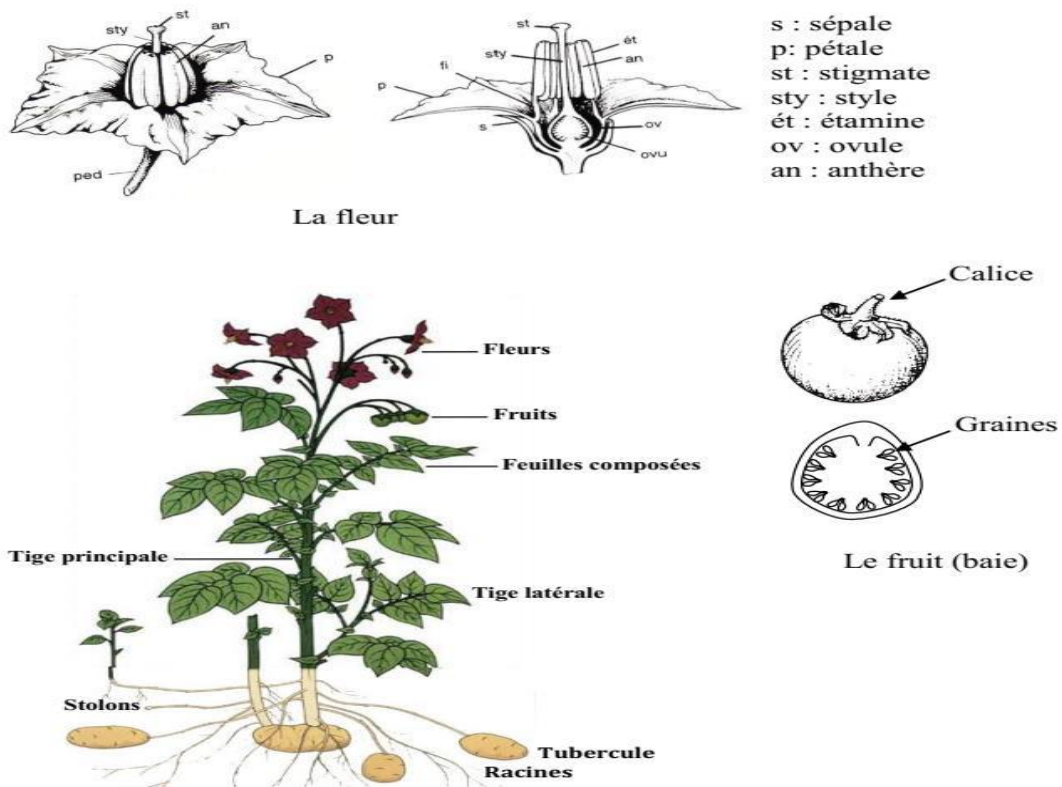


Figure 5: Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre (FAO ,2008)

3.2.3.1 Caractéristiques du tubercule

Quatre principaux critères permettent de caractériser le tubercule (Rousselle et *al.*, 1996).

- **La forme** : les tubercules sont classés en quatre grands types : les claviformes, Les oblongues, les arrondis et les cylindriques allongés.

Les tubercules sont classés en quatre grands types :

- **les claviformes**, qui sont plus ou moins en forme de massue, comme 'BF 15', ou en forme de rein, comme la 'Ratte'

- **les oblongs**, de forme plus ou moins allongée (un peu comme un kiwi), comme 'Ostara', 'Bintje', 'Spunta' ou 'Béa'

- **les arrondis**, qui sont souvent bosselés ; ce sont des variétés surtout destinées à produire de la féculé;

- **les cylindriques allongés**, souvent plus ou moins bosselés; ce sont des variétés anciennes qui ne sont cultivées que par des jardiniers amateurs, mais que l'on retrouve depuis peu sur les marchés, comme la 'Vitelotte Noire'.



Figure 6: Les différentes formes des tubercules de pomme de terre (Chebbah, 2016)

-Enfoncement des yeux

La plupart des variétés ont des yeux superficiels, peu d'entre elles ont des yeux demis enfoncés.

-La couleur et la texture de la peau

C'est le caractère le moins variable pour une variété donnée. La coloration est due à la présence d'un ou plusieurs pigments dans les cellules du périderme. La plupart des variétés sont d'une teinte jaunâtre uniforme. Certaines sont rose pâle ou foncé, voire franchement rouges. Les variétés à peau violacée ou noir violet sont des variétés locales et anciennes. La peau peut être lisse ou rugueuse.

-La couleur de la chair

Elle peut aller du blanc au jaune. La 'Vitelotte Noire' possède une chair colorée en violet foncé.

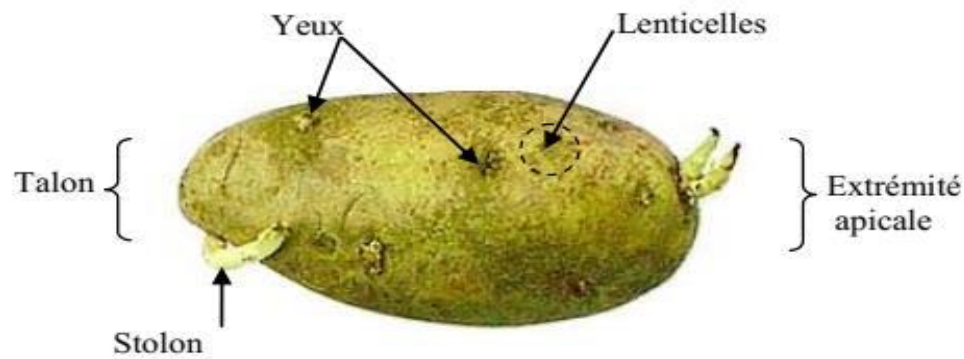


Figure 7: Principaux organes extérieurs du tubercule de pomme de terre (Boufares, 2012)

4 Physiologie et cycle de développement

4.1 Cycle sexué

Le fruit est une baie sphérique ou ovoïde de 1 à 3 centimètres de diamètre, il comporte généralement plusieurs dizaines de graines (Bernhards, 1998).

La pomme de terre est très peu reproduite par graines dans la pratique agricole, cependant la graine est l'outil de création variétale. La germination est épigée et les cotylédons sont portés au-dessus du sol par l'évolution de l'hypo-cotyle. En conditions favorables, quand la jeune plante a seulement quelques centimètres de hauteur, les stolons commencent à se développer d'abord au niveau des cotylédons puis aux aisselles situées au-dessus, et s'enfoncent dans le sol pour donner des tubercules (Bernhards, 1998).

4.2 Cycle végétatif

Le cycle de la pomme de terre se déroule en trois étapes et se fait par le tubercule qui sert à la multiplication végétative :

- La dormance
- La germination
- La tubérisation.

4.2.1 Dormance (repos végétatif)

Après la récolte, la plupart des variétés de pommes de terre traversent une période de dormance où le tubercule ne germe pas, quelle que soient les conditions climatiques (température, éclairage et humidité,...), et sa durée constitue un caractère variétal qui dépend beaucoup de la variété et des conditions d'entreposage et surtout de la température. Afin d'accélérer la germination, on peut traiter les tubercules de semence par des produits chimiques ou les exposer alternativement à des températures élevées et basses (Lahouel, 2015).

4.2.2 Germination

Lorsqu'un tubercule est placé dans des conditions favorables (16-20°C, 60-80% d'humidité relative) instantanément après la fin de son repos végétatif, il débute sa germination. Les tubercules deviennent capables de lancer des bourgeons après une évolution physiologique interne, ce qui conduit à un seul germe qui se développe lentement et issu du bourgeon terminal qui inhibe les autres bourgeons, c'est la dominance apicale, puis un développement d'un petit nombre de germes à croissance rapide est observé.

Ensuite, un nombre de plus en plus élevé de germes démarrent, traduisant une perte progressive de la dominance apicale. Ils s'allongent lentement, se ramifient, deviennent filiformes et finalement tubérisés (Kechid, 2005).

4.2.3 Tubérisation

La tubérisation commence par un arrêt d'élongation des stolons après une période de croissance . Ce phénomène s'effectue dès que le diamètre des ébauches est le double de celui des stolons qui les portent. L'accumulation des substances de réserve synthétisées par le feuillage dans les tissus permet le grossissement des ébauches de tubercules. Ce grossissement ralentit puis s'arrête au cours de l'affaiblissement du feuillage (Chebbah, 2016). La Figure ci-dessous schématise les étapes principales dans le cycle de développement de la pomme de terre :

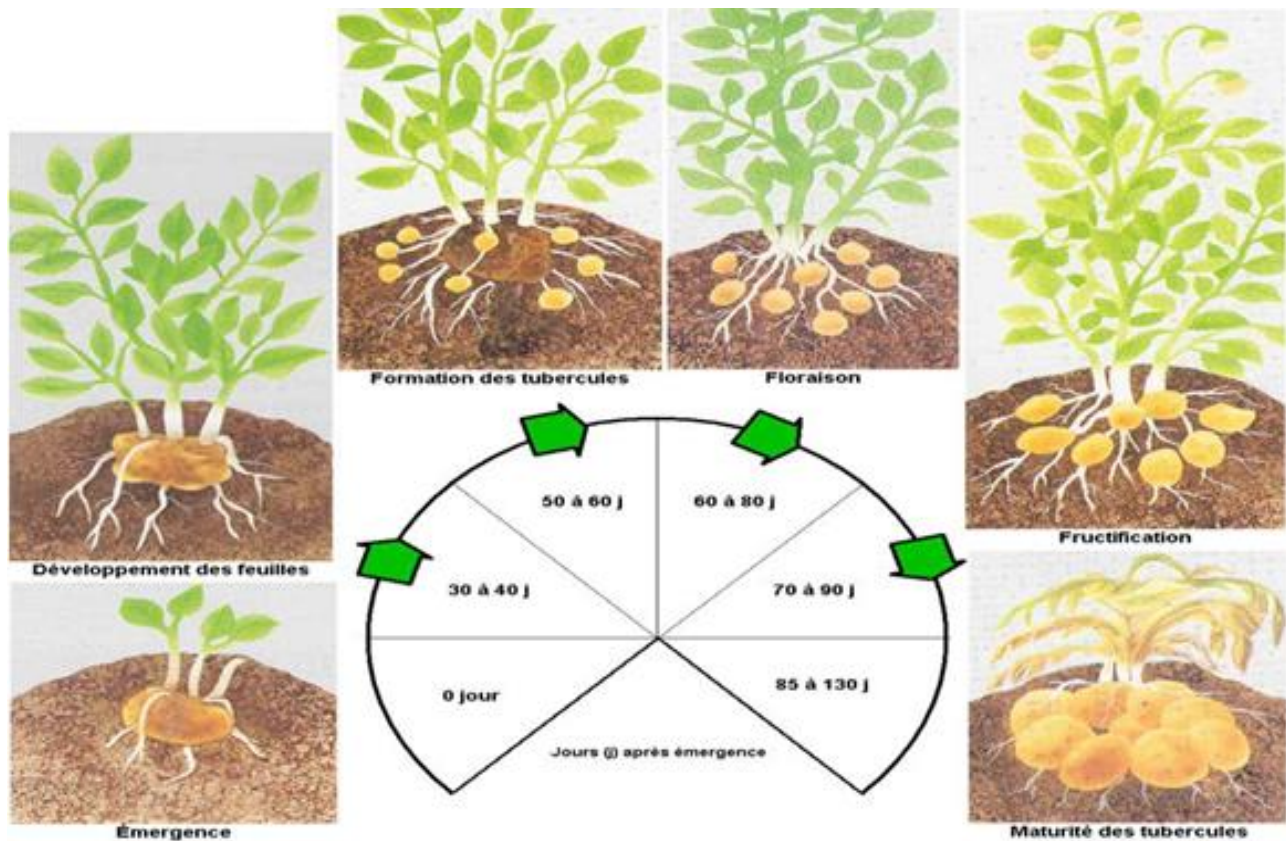


Figure 8: Cycle de vie de la pomme de terre (Soltner, 2005).

5 Variétés et classement de la pomme de terre

Les variétés de pomme de terre sont innombrables, certains en comptent plus de 3000, d'autres affirment en avoir dénombré 5000. Toujours est-il que la plupart ne sont pas utilisées pour l'alimentation. En Algérie, la variété la plus dominante est Spunta, plus de 60% des superficies cultivées sont de cette variété, bien qu'il existe 169 variétés de pomme de terre homologuées en Algérie (Polese, 2006).

5.1 Selon la durée du cycle végétatif

On peut distinguer 4 catégories (précoces, demi précoces, demi tardives, tardives). Les variétés précoces sont cultivées pour la production de primeurs, elles sont déterrées avant maturité, de 2 à 3 mois avant la plantation. Les variétés demi précoces, demi tardives ou tardives mettent plus de temps pour parvenir à maturité, elles fournissent la pomme de terre de conservation (Polese, 2006).

5.2 Selon l'utilisation

Les variétés de pommes de terre sont réparties en quatre groupes selon leur utilisation, et plus particulièrement selon leur degré de délitement à la cuisson, la fermeté de la chair et leur friabilité. Les pommes de terre à chair ferme se classent toutes dans le groupe A ; les variétés dites de consommation se trouvent la plupart du temps dans le groupe B, parfois dans le groupe C. Des degrés intermédiaires existent entre A et B (A-B), et B et C (B-C).

-Groupe A, ou pomme de terre à chair ferme : se sont des pommes de terre à chair fine et ferme, peu farineuse. Elles ont une très bonne tenue à la cuisson, et ne se délitent pas. C'est dans ce groupe que l'on trouve les meilleures variétés pour les salades. Les variétés de cette catégorie ('Charlotte', 'Roseval', 'Belle de Fontenay', 'Ratte'...) sont souvent de taille moyenne et de forme allongée.

-Groupe B, ou pomme de terre à chair fondante :elles ont une chair assez fine et ferme, peu farineuse, et se délitant légèrement à la cuisson, ce sont des pommes de terre qui conviennent pour la plupart des préparations : rissolées, sautées, plats mijotés, gratins, cuisson au four, parmi les variétés, on peut citer ('Bea', 'Ostara', 'Spunta', 'Rosa belle', 'Manon'...).

-Groupe C, ou pomme de terre à chair farineuse : la chair est sèche, farineuse, et se désagrège fortement lors de la cuisson, elles absorbent moins l'humidité. Ce sont des pommes de terre idéales pour la purée, mais également pour les soupes et les frites.

-Groupe D, ou pomme de terre à chair très farineuse : très sèches, elles se désagrègent totalement à la cuisson. Ce sont des pommes de terre réservées à la fabrication de féculé ou à l'alimentation animale, elles n'entrent pas dans la gamme des pommes de terre de consommation (Polese, 2006).

5.3 Comparatif des variétés

Sachant qu'il y a plusieurs variétés, dont on va citer quelques une :

Tableau 2: Description de la variété ADRIANA

ADRIANA	
Description de la plante	Taille moyenne, port demi-dressé
Description du tubercule	Gros, allongé, peau jaune et lisse, chair jaune pâle, yeux peu profonds
Maturité	Demi précoce
Rendement	Très élevé
Qualité culinaire	Tenue moyenne à la cuisson : pour frites

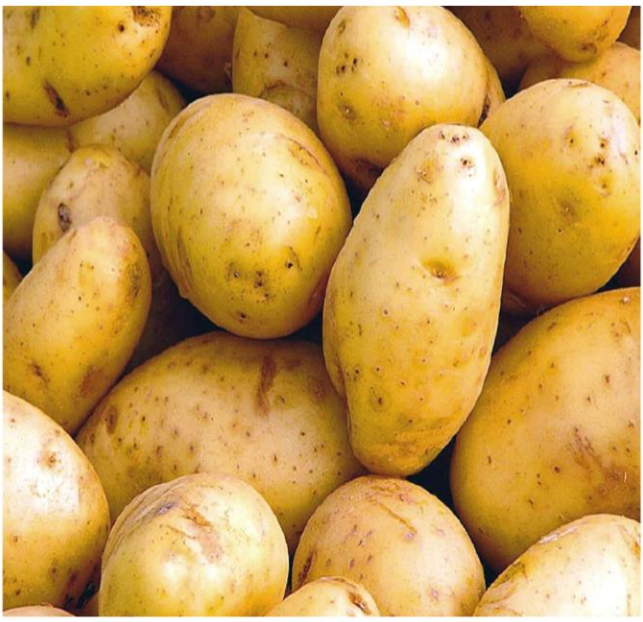


Tableau 3: Description de la variété AGATA

AGATA	
Description de la plante	Taille basse, port étalé
Description du tubercule	Assez gros, ovale, peau jaune, chair jaune pâle, yeux peu profonds.
Maturité	Précoce ou demi-précoce.
Rendement	Elevé.
Qualité culinaire	Bonne tenue à la cuisson : au four (cuite entière avec la peau).




Tableau 4: Description de la variété ANNABELLE

ANNABELLE	
Description de la plante	Taille moyenne, port plutôt étalé.
Description du tubercule	Petit, très allongé, peau jaune, lisse, chair jaune foncé, yeux peu profonds
Maturité	Précoce ou demi-précoce.
Rendement	Moyen.
Qualité culinaire	Très bonne tenue à la cuisson.

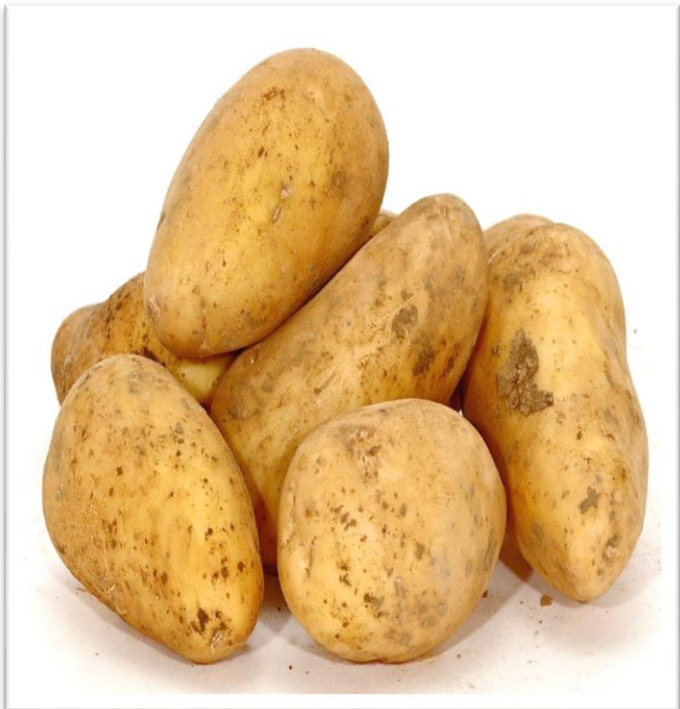


Tableau 5: Description de la variété ANAÏS

ANAÏS	
Description de la plante	Taille moyenne, port demi-dressé.
Description du tubercule	Très gros tubercules ovales, peau et chair jaunes, yeux moyennement enfoncés.
Maturité	Très précoce.
Rendement	Très élevé.
Qualité culinaire	Bonne tenue à la cuisson ; pomme de terre primeur ; potage, purée...




Tableau 6: Description de la variété BELLE DE FONTENAY

BELLE DE FONTENAY	
Description de la plante	Taille moyenne, port demi-dressé
Description du tubercule	Assez petit, peau jaune, chair jaune foncé, yeux très superficiels.
Maturité	Très précoce.
Rendement	Faible.
Qualité culinaire	Très bonne tenue à la cuisson ; pour salades, pomme vapeur et pomme rissolées.

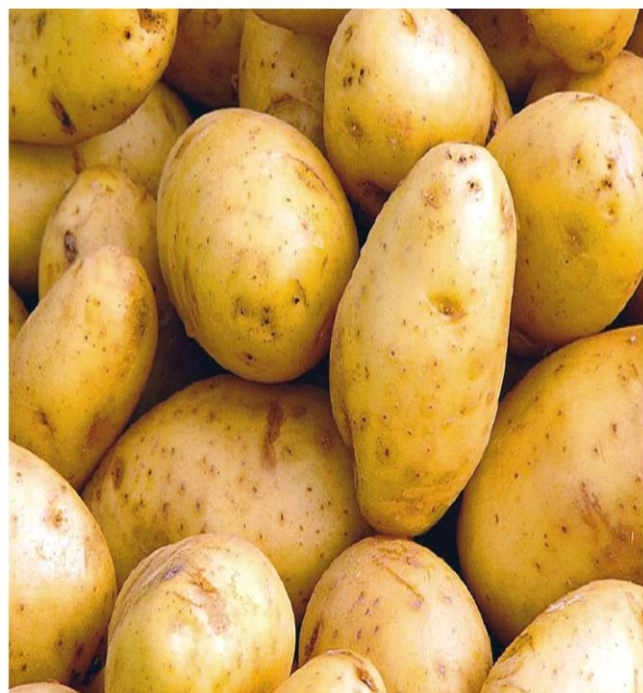


Tableau 7: Description de la variété CHÉRIE

CHÉRIE	
Description de la plante	Taille haute, port demi-dressé.
Description du tubercule	Petit tubercule allongé, peau rouge lisse, chair jaune pâle, yeux superficiels.
Maturité	Précoce à très précoce.
Rendement	Assez faible.
Qualité culinaire	Très bonne tenue à la cuisson, mais léger noircissent après ; pour potage et frites.



Tableau 8: Description de la variété LADY ROSETTA

LADY ROSETTA	
Description de la plante	Taille moyenne, port plutôt-dressé
Description du tubercule	Rond, peau rouge, chair jaune pâle, yeux très superficiels.
Maturité	Demi précoce.
Rendement	élevé.
Qualité culinaire	Variété savoureuse ; idéal cuite au four.

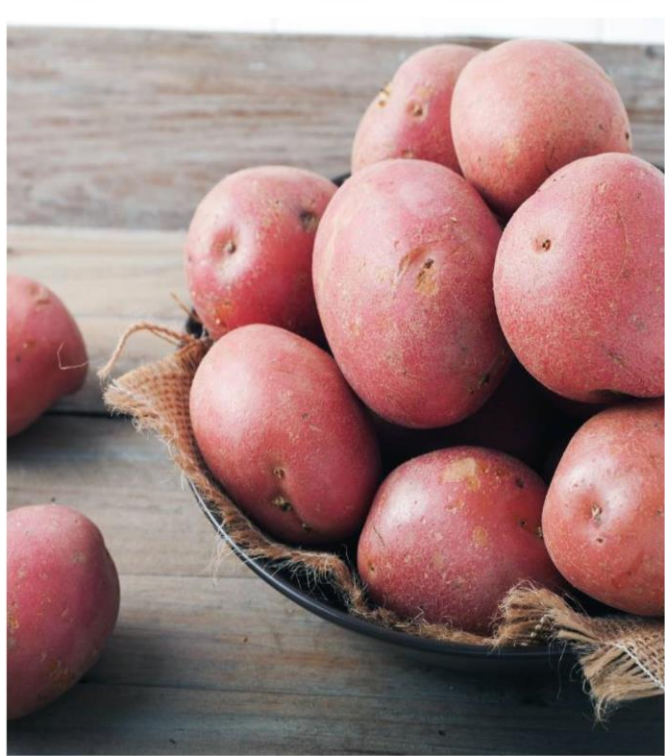


Tableau 9: Description de la variété MONALISA

MONALISA	
Description de la plante	Taille assez haute, port dressé
Description du tubercule	forme très régulière, peu allongé, peau et chair jaunes, yeux très superficiels.
Maturité	Demi précoce
Rendement	Elevé
Qualité culinaire	Bonne à très bonne tenue à la cuisson : soupe, purée et frites




Tableau 10: Description de la variété RATTE

RATTE	
Description de la plante	Taille moyenne, port demi étalé.
Description du tubercule	Petit, en forme de rein ou très allongé, peau et chair jaunes, yeux assez superficiels.
Maturité	Moyenne.
Rendement	Faible.
Qualité culinaire	très bonne tenue à la cuisson ; pour cuisson à l'eau ou vapeur (salades, raclette), ragoût, pommes sautées.




Tableau 11: Description de la variété SPUNTA

SPUNTA	
Description de la plante	Taille haute, port dressé.
Description du tubercule	Gros tubercule allongé de forme régulière, peau et chair jaune, yeux très superficiels.
Maturité	Demi précoce.
Rendement	Très élevé
Qualité culinaire	Bonne tenue à la cuisson : pour rôtir, purée et gratin


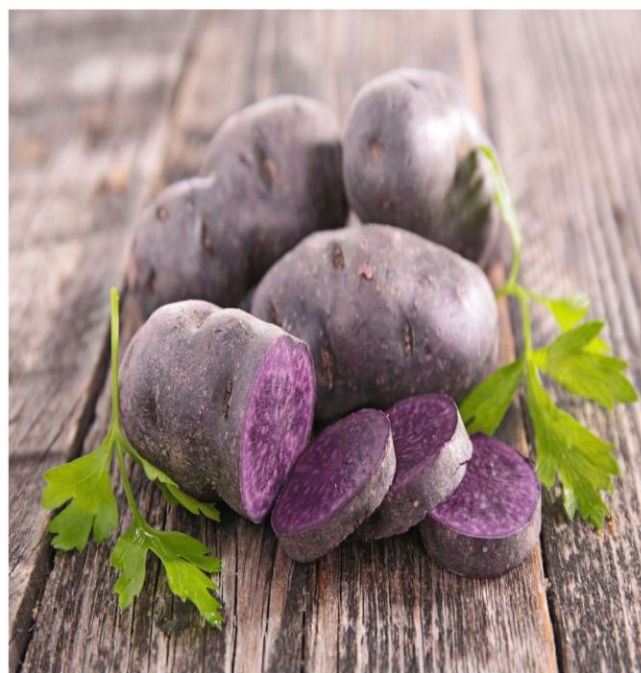


Tableau 12: Description de la variété VITELLOTTE

VITELLOTTE Variété ancienne.	
Description de la plante	Taille haute, port dressé.
Description du tubercule	Allongé, peau et chair violet très foncé, yeux demi-enfoncés.
Maturité	Tardive.
Rendement	Moyen.
Qualité culinaire	Goût de châtaigne très fruité, idéale pour les frites et les chips



6 Les facteurs écologiques de la production de la pomme de terre

6.1 Facteurs climatiques

6.1.1 Température

Elle est influencée sur le type de croissance ; les hautes températures stimulent la croissance des tiges par contre les basses températures favorisent la croissance des tubercules. Les tubercules risquent de geler à partir du moment où les températures deviennent inférieures à environ -2°C et le zéro de germination est compris entre 6 et 8°C (Boufares, 2012).

6.1.2 Lumière

La croissance végétative de la pomme de terre est favorisée par des jours longs (14 à 18h). La tubérisation est plutôt favorisée par des jours courts (Inferieur à 12h).

6.2 Les facteurs édaphiques

6.2.1 Sol

Généralement la pomme de terre se développe mieux dans des sols à texture plus ou moins grossières (Sablonneuse ou sablo-limoneuse) que dans les sols de texture fine et battante (Argileuse ou argilo-limoneuse). Le sol possède un certain nombre de caractéristiques physico-chimiques telles que sa texture, son degré d'aération, son aptitude au réchauffement, sa capacité de rétention d'eau. Pour une bonne croissance, la pomme de terre préfère des sols profonds, fertiles et meubles.

6.2.2 PH

La pomme de terre peut donner de bons rendements dans des sols légèrement acides (PH=5,5 à 6) ; dans le cas du pH élevé dans le sol peut causer le développement de la gale Commune sur le tubercule (Boufares, 2012).

6.2.3 Salinité

Le taux élevé de salinité dans le sol peut bloquer l'absorption de l'eau par le système racinaire et le point de flétrissement est atteint rapidement, malgré que la pomme de terre soit tolérante à la salinité par rapport aux autres cultures maraîchères.

On peut réduire la salinité d'un sol en lessivant par l'eau d'irrigation douce (Bamouh, 1999).

Chapitre(02):

LES MALADIES DE LA POMME DE TERRE



1 La cause de la maladie

La production de pomme de terre est confrontée à de nombreux stress abiotiques et biotiques, comme les attaques de divers pathogènes et ravageurs, notamment les champignons, les bactéries, les virus, les insectes et les nématodes (Mulder et Turkensteen, 2005), etc., par des désordres physiologiques ou par des facteurs environnementaux.

En effet, les maladies phytopathogènes peuvent soit occasionner des pertes sévères de rendement, soit détériorer la qualité des productions (Harmel et *al.*, 2008).

2 Les différentes maladies

On estime à 160 environ le nombre de maladies affectant la pomme de terre, dont une cinquantaine dues à des champignons, une quarantaine à des virus et une dizaine à des bactéries, le reste étant attribuable à des facteurs abiotiques ou à des causes inconnues (Arora, 2004).

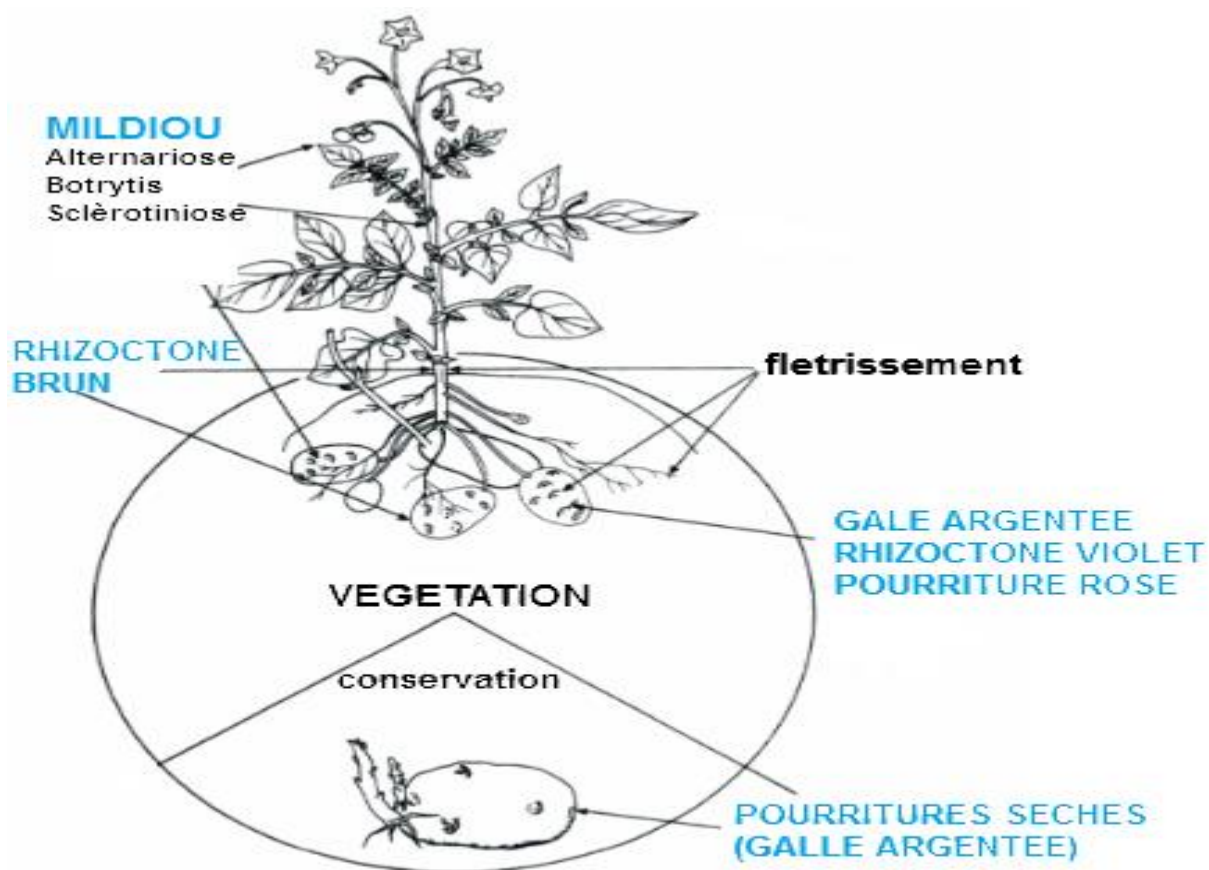







Figure 9: Localisation sur la plante, des principales maladies de la pomme de terre (Arora, 2004).

2.1 Les maladies cryptogamiques



Tableau 13: La cause et les symptômes des maladies cryptogamiques (PHILIPPE *et al.*, 2008 ; MALET, 2006 ; Maladie et ravageurs pris en compte dans le cadre du contrôle officiel des plants de PDT, 2006; centre international de la pomme de terre, 1990)


La maladie	La cause	Les symptômes	
Mildiou de pomme de terre	Provoquée par un Champignon <i>Phytophthora Infestans</i> qui se transmet par le vent.	-Brunissement de la base des tiges ou de portions de tige et de pétioles -Taches jaunâtres devenant brunes sur les feuilles de la base.	
Rhizoctone Brun	Provoquée par <i>Rhizoctonia solani</i> qui se développe à partir des sclérotés noirs fixés sur le tubercule-mère ou présents dans le sol.	-Levées irrégulières ou tardives des plantes - les stolons et les racines présentent des taches brunes profondes. Le rhizoctone se traduit par un enroulement et un jaunissement de feuillages -des sclérotés de couleur marron foncé ou noir peuvent se former à la surface de tubercules.	
Alternariose	Provoquée par les champignons <i>Alternaria solani</i> et <i>Alternaria alternata</i> , se transmet par le vent et la pluie.	-sur les feuilles, des taches nécrotiques, angulaire, de couleur brune avec au centre, une série d'anneaux concentriques -la pourriture du tubercule est noire, sèche et superficielle.	

<p>Fusariose ou pourriture sèche</p>	<p>Elle est provoquée par des champignons du genre <i>Fusarium</i> (<i>Fusarium roseum var. sambucinum</i> et <i>Fusarium solani var. coeruleum</i>) ; le tubercule et la terre contaminés sont les vecteurs de propagation de ces champignons</p>	<p>-Sur le tubercule ; les tissus touchés brunissent et dépriment présente des sites concentriques, la coupe de tubercule montre une pourriture marron qui se développe vers l'intérieur. -les tissus vasculaires des tiges et des tubercules se décolorent</p>	
<p>Verticilliose</p>	<p>Deux champignons de genre <i>Verticillium</i> qui sont responsables de la maladie de la verticilliose de la pomme de terre (<i>Verticillium dahliae</i> et <i>Verticillium albo-atrum</i>) ; se provient du sol, de l'eau d'irrigation ou de ruissellement.</p>	<p>-le jaunissement des feuilles suivi par flétrissement du feuillage qui se généralise à l'ensemble de la plante, et le système vasculaire prend une couleur brune. -l'anneau vasculaire des tubercules peut se colorer de brun clair, mais il garde une texture ferme.</p>	

2.2 Les maladies bactériennes


Tableau 14: La cause et les symptômes des maladies bactériennes (PHILIPPE *et al.*, 2008 ; MALET, 2006 ; Maladie et ravageurs pris en compte dans le cadre du contrôle officiel des plants de PDT, 2006; centre international de la pomme de terre, 1990)


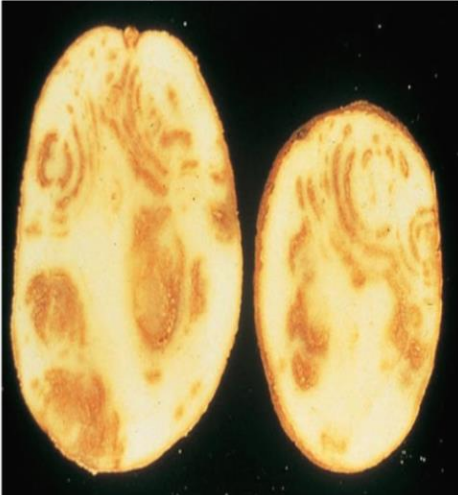
La maladie	La cause	Les symptômes	
Jambe noire	causée principalement par la bactérie <i>Erwinia carotovora</i> , qui se développe rapidement sur les régions humides.	-se provoque des pourritures noires sur les tiges, le jaunissement et le flétrissement des feuilles ; sur le tubercule des pourritures molles internes et dégrade les tissus de tubercule. -les tissus deviennent humides, et prennent une couleur qui va du blanc crème au marron.	
Bactériose vasculaire	Provoquée par <i>Pseudomonas solanacearum</i> qui se développe rapidement à températures élevées	-Flétrissement sur une seule partie de la feuille ou sur une ou plusieurs tiges d'une plante, et le système vasculaire devient sombre -la plante laisse apparaître un suintement bactérien visqueux variant du gris au brun. -une tige coupée, puis plongée dans de l'eau claire, laissant échapper un liquide bactérien blanc laiteux, confirme l'infection.	

<p>Gale commune</p>	<p>se provoque par <i>Streptomyces scabies</i> il y a deux principales formes de gale commune (la gale commune en relief ou en pustules et la gale commune en liège).</p>	<p>-les symptômes peuvent être proéminents, superficiels ou réticulaire, ou encore en creux. -la gale commune se manifeste uniquement sur la surface des tubercules, des attaques plus profondes avec présence de pustules (gale en pustules) ou des taches liégeuses superficielles (gale en liège).</p>	
----------------------------	---	---	---

2.3 Les maladies virales

Tableau 15: La cause et les symptômes des maladies virales (PHILIPPE *et al.*, 2008 ; MALET, 2006 ; Maladie et ravageurs pris en compte dans le cadre du contrôle officiel des plants de PDT, 2006; centre international de la pomme de terre, 1990)

La maladie	La cause	Les symptômes	
<p>Virus Y</p>	<p>Causé par <i>Potyvirus</i> qui se transmet par au moins 70 espèces de puceron.</p>	<p>- provoque des taches nécrotiques noires sur les nervures des feuilles, les feuilles deviennent cassantes. - Altération de zones vert clair et vert foncé.</p>	

<p>Virus X</p>	<p>Provoquée par le virus X qui se transmet par frottement, par les semences infectées ou par contact.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Apparition de mosaïques limitées par les nervures. -les souches virulentes peuvent provoquer des déformations. 	
<p>Virus M</p>	<p>Provoquée par le Virus M, et le vecteur de cette maladie sont les pucerons. Elle peut transmettre aussi par les tubercules infectés et par contact.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Déformation foliaires -Légère décoloration des nervures des feuilles du sommet. -Ondulation du bord des feuilles et la formation de taches en mosaïque - la déformation des feuilles. 	

3 Le mildiou

3.1 Histoire

À partir de 1843 aux États-Unis et 1845 en Europe, les cultures de pommes de terre ont été victimes d'une maladie jusque là inconnue, attaquant le feuillage et les tubercules et provoquant des dégâts considérables. En 1850 : une attaque de mildiou, et l'attitude des Anglais, provoquent la mort d'un million de personnes et l'émigration en Amérique d'un million d'autres.

En Afrique, la maladie a été détectée pour la première fois en 1941 (Sadiki *et al.*, 1997 in Beninal, 2010) . L'agent parasitaire en cause fut ultérieurement reconnu comme étant bien le responsable de la maladie et fut dénommé *Phytophthora infestans* , tandis que l'affection qu'il provoquait fut appelée mildiou de la pomme de terre. Après plus d'un siècle de stabilité dans le déroulement des épidémies de mildiou dans le monde, de nouvelles souches *P. infestans*, probablement originaires du Mexique, ont envahi la planète à partir de 1976. Ces événements mettent en évidence les énormes potentialités

évolutives des populations de *P. infestans*, qui créent des incertitudes quant à l'évolution future des épidémies de mildiou de la pomme de terre et au rôle de l'homme dans la dissémination des parasites (Semal, 1995).

3.2 Description de la maladie

C'est la maladie la plus grave en culture biologique de pomme de terre et la plus redoutable, causée par le *Phytophthora infestans*, qui détruit le feuillage et les tubercules de la pomme de terre. Cet agent pathogène peut également passer l'hiver sous forme d'oospores dans le sol. Bien que le mildiou apparaisse le plus souvent dans les climats froids et humides, il peut aussi apparaître partout où des températures froides se mélangent à des conditions d'irrigation ou à un climat humide, ce qui favorise le développement de maladies. Les attaques précoces perturbent la photosynthèse, et affectent ainsi la formation des tubercules, ce qui provoque une perte partielle ou totale du rendement. En revanche, les attaques tardives affectent plutôt la qualité des tubercules pouvant entraîner leur destruction lors du stockage (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2015).

Dans des conditions météorologiques et de récoltes favorables, un champ de pommes de terre peut être défolié en deux à trois semaines, et parfois même en l'espace de quelques jours, à cause du mildiou. (Al-Mughrabi, 2011) (Figure 10) .



Figure 10: Culture de pomme de terre détruite par le mildiou.

3.3 Cycle de développement

Le champignon se conserve pendant l'hiver sous forme de mycélium dans les tubercules conservés en stockage, dans les tas de déchets ou les grenailles restées aux champs. La germination des spores et la contamination des premières plantes démarrent au printemps. La phase d'incubation dure en moyenne 7 jours : elle varie de 5 jours pour des températures de 16 à 20 °C à 9 jours pour des températures de 8 à 12°C (cesse son activité dès 4°C). Lorsque les lésions apparaissent, les spores se

forment à nouveau et peuvent contaminer de nouvelles plantes (Syngenta France, 2020). La brièveté du cycle (de 5 à 7 jours) quand les conditions sont optimales, ainsi que la quantité importante des spores produites à chaque génération, explique le développement très rapide de la maladie (Chaigneau, 2015). Les épidémies de mildiou sont causées par la récurrence et la juxtaposition du cycle infectieux (Chaigneau, 2015).

Le cycle du mildiou est divisé en trois phases :

- **La contamination**, lors de laquelle les sporanges ou les spores vont germer à la face supérieure de la feuille (la contamination peut également s'opérer au niveau des tiges, des bouquets terminaux et des tubercules).
- **L'incubation**, durant laquelle la spore émet un filament mycélien qui se propage à l'intérieur de la feuille.
- **La sporulation**, phase de formation de sporangiophores à la face inférieure de la feuille (formation d'un feutrage blanc) et de libération des sporanges et des spores (Abgrall, 2015).

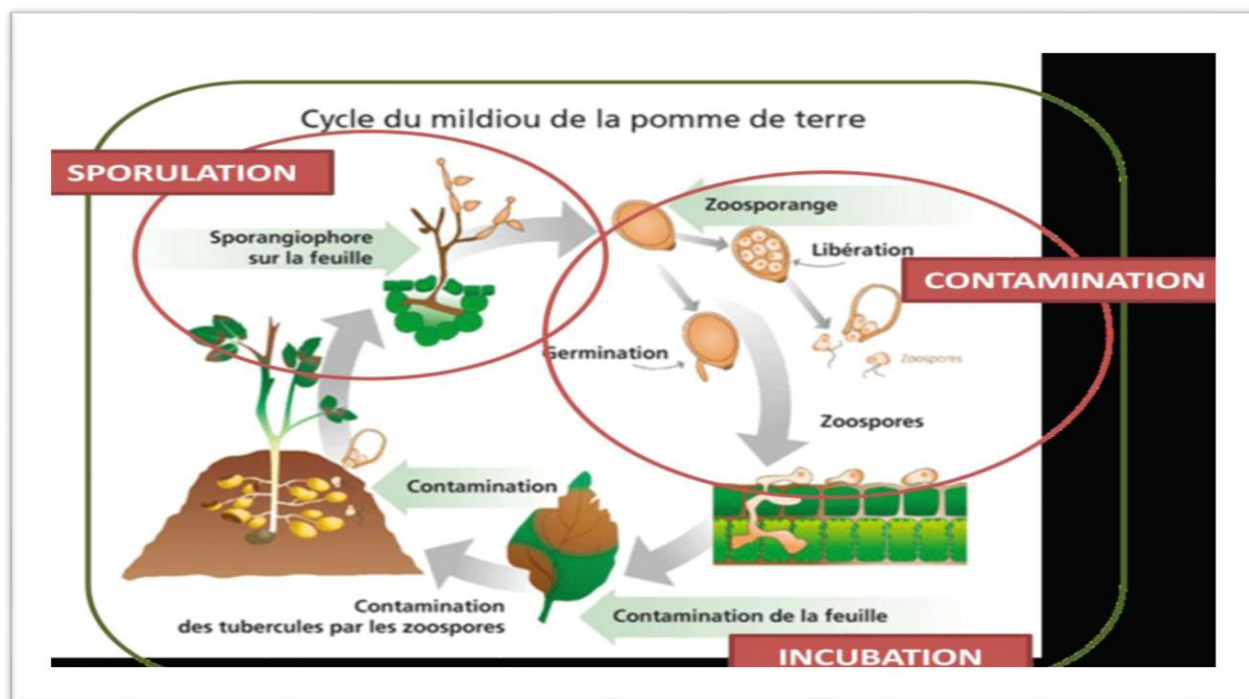


Figure 11: Le cycle de développement du mildiou de pomme de terre (Abgrall, 2015).

3.4 Sources d'infection

Dans la nature, le pathogène ne persiste que sur du matériel végétale vivant. D'où les sources d'infection primaire : tubercules infectés, champs de pommes de terre avoisinants, repousses ou des déchets de pomme de terre et autres plantes hautes (International Potato Center (CIP), 2017). **Tubercules infectés** . Ils représentent généralement la source la plus importante de la maladie, ils

peuvent se trouver parmi les plants, dans les tas de déchets, ou dans le champ lors d'une précédente récolte. Les spores peuvent être transportées par le vent et ainsi infecter les champs de pomme de terre. L'infection se propage aux tubercules par les lenticelles et les blessures, cela se produit lorsque les zoosporanges ou les zoospores sont lessivés dans le sol par la pluie, s'écoulant des feuilles infectées, cependant, quelques germes se développant à partir de tubercule infecté, peuvent former les sources d'infection primaire.

Champs de pommes de terre avoisinants. Les champs de pommes de terre peuvent être une source d'infection, surtout dans les zones où les pommes de terre sont cultivées tout au long de l'année.

Autre plantes-hôtes. Les tomates et autre solanacées peuvent être atteintes par *P. infestans*. Le pathogène peut se maintenir sur les espèces sauvages de pommes de terre, qui sont largement réparties en Amérique central et du sud (les Andes). La maladie peut se répondre de ces plantes vers les pommes de terre cultivées (centre international de la pomme de terre ,1987).



Figure 12: Tas de déchets non gérés, principale source d'inoculum (Abgrall, 2015).

3.5 Les symptômes

Les symptômes s'étendent rapidement à la feuille entière, envahissent les tiges et entraînent la mort du plant, ces symptômes se développent trois à cinq jours après l'infection. En cas d'attaque grave, les champs infestés dégagent une mauvaise odeur caractéristique perceptible à de grandes distances (Blancard , 2012).



Figure 13: Un champ de pomme de terre infesté par le mildiou (centre international de la pomme de terre ,1987).

3.5.1 Sur la feuille

Les tout premiers symptômes de la maladie au champ sont habituellement visibles sur les feuilles. Ces symptômes sont des taches variant du vert pâle au vert foncé qui se transforment plus tard en lésions irrégulières et nécrotiques brunes ou noires qui se répandent rapidement en condition de forte humidité et de basse température. La sporulation ressemblant à un duvet blanchâtre entourant les lésions, peut être visible sur la face inférieures des feuilles. Ce symptôme peut ne pas être évident de jour, la maladie peut se répandre à partir des premières folioles infectées de quelques plantes à la plupart des plantes d'un champ en moins d'une semaine (centre international de la pomme de terre CIP, 1987).



Figure 14: Une feuille de pomme de terre infectée par le mildiou (International Potato Center, 2007).

3.5.2 Sur la tige

Les lésions peuvent se développer en surface ou à l'intérieure des pétioles et des tiges à partir des feuilles, les lésions se répandent longitudinalement sur la tige, et les tiges infectées sont affaiblies et

ultérieurement elles peuvent t se casser et entraîner l'affaissement de plantes entières (centre international de la pomme de terre CIP, 1987).



Figure 15: Une tige d'une plante de pomme de terre infectée par le mildiou (International Potato Center, 2007).

3.5.3 Sur le tubercule

Les tubercules infectés présentent une décoloration superficielle, sombre et irrégulière. Les lésions nécrotiques sèches et brunes se répandent de la peau vers le tissu interne du tubercule. En raison de présence de pathogène secondaire, la pourriture sèche caractéristique de *P. infestans* peut devenir une pourriture molle (centre international de la pomme de terre CIP, 1987).



Figure 16: Un tubercule infecté par le mildiou (Rakotonindraina, 2012).

3.6 Biologie

Le champignon hiverne dans les tubercules infectés, soit en entrepôt, soit dans le sol. Au printemps, il pousse vigoureusement dans les tas de tubercules de rebut ou sur les plants spontanés de pommes de terre.

Par temps favorable, généralement vers le mois de juillet, les spores de ces plants spontanés sont charriées par le vent et déposées sur le feuillage des nouvelles plantes. Elles germent dans les gouttelettes d'eau qui se forment à la surface des feuilles et produisent une multitude de zoospores qui envahissent le plant. La multiplication des spores dans les gouttelettes se produit par température d'environ 16°C et dans des conditions d'humidité relative de 100%. Il suffit de 5 jours de temps favorable pour produire la formation de zoospores au niveau des feuilles. La pluie et le vent se chargent alors de les disperser vers les plantes saines.

Les tubercules sont infectés par les zoospores entraînées en sol par la pluie. L'envahissement se fait généralement par les yeux. Le danger d'infection est plus grand en sol meuble graveleux qu'en sol compact. En entrepôt le champignon ne se propage pas d'un tubercule à l'autre (Blancard ,2012).

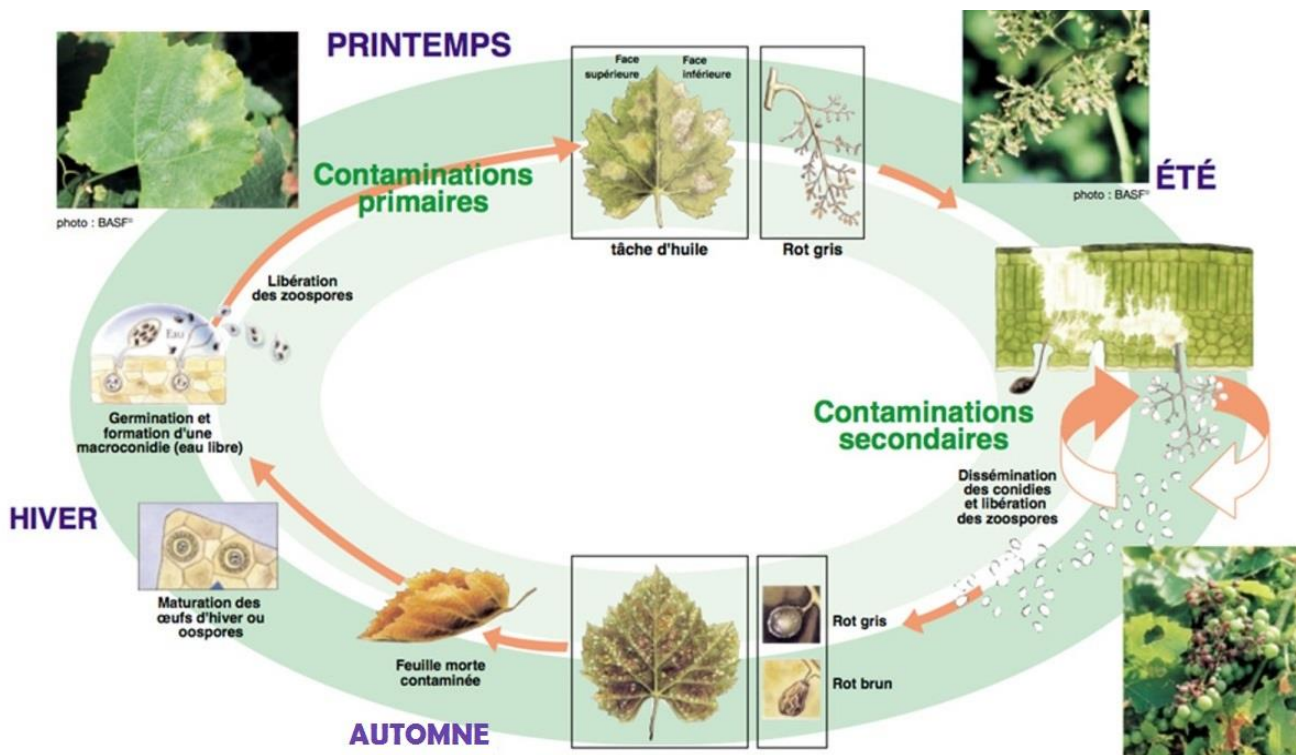


Figure 17: Biologie du mildiou (BASF, 2019).

3.7 Évaluation du mildiou au champ

L'évaluation au champ est pratiquement le seul moyen de comparer la réaction des variétés au mildiou. En basant sur le tableau suivant, on note le feuillage atteint par *P. infestans* en utilisant des notes et pourcentages. Cette opération doit être effectuée à intervalles réguliers (chaque semaine) à

partir des premiers manifestation du mildiou, on juge après le pourcentage moyen des lésions pour le rang entier , si le résultat est intermédiaire entre 2 notes, on prend la note la plus élevée (centre international de la pomme de terre ,1987).

Tableau 16: L'évaluation du mildiou au champ

Notes	Pourcentage de feuillage atteint	Description
1	0	-Aucune ou très peu de lésion sur l'ensemble du rang
2	3	Plus de 0% et moins de 10%
3	10	
4	25	
5	50	-La moitié du feuillage est détruite.
6	75	
7	90	
8	97	-Seules quelques rares zones vertes sont épargnées (beaucoup moins de 10%)
9	100	-Feuillage complètement détruit

3.8 Utilisation comme arme biologique

Le mildiou de la pomme de terre fut l'un des plus de 17 agents que les États-Unis ont étudiés comme armes biologiques potentielles avant que le programme d'armes biologiques soit suspendu. La France, le Canada, les États-Unis et l'Union soviétique ont également fait des recherches sur le *Phytophthora infestans* comme arme biologique durant les années 1940 et 1950 (Suffert *et al.*, 2009).

4 L'étude de l'agent pathogène :

4.1 Phytophthora

Le genre *Phytophthora* est un membre de la règne des *chromista* , phylum *Oomycota*, ordre des *péronosporales* et famille des *pythiaceae* (Cavalier-smith,1986 ; Hawksworth *et al.*,1995). Il est composé de deux racines grecques soit phyto , une plante et phthora , destruction (Blackwell, 1949) . Les genres *phytophthora* donc signifie destructeur de plantes. Parmi les espèces les plus connues de ce genre, *P.infestans* (Zentmyer, 1983). Approximativement 43, 67, 80 et plus de 100 espèces de *Phytophthora* ont été décrites sont connues et causent un grand nombre de maladies sur un nombre croissant d'espèces végétales incluant les grandes cultures, les espèces forestières, subtropicales, tropicales et les plantes ornementales (Kerroum, 2019). Sur 50 espèces de *Phytophthora* étudiées, 32 ont des spectres d'hôtes larges et 18 n'ont qu'un seul hôte. Par exemple, *P.cinnamomi* infecte plus de 900 espèces alors que *P.infestans* n'infecte que deux espèces de *Solanum* (la tomate et la pomme de terre) (Grünwald and Flier, 2005).

4.2 *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans (Mont) de Bary est plus communément appelé l'agent causal de la maladie du mildiou de pomme de terre, c'est un pathogène oomycète particulièrement destructeur de cette culture en infectant et tuant les feuilles, les tiges et les tubercules (Talbot, 2004). *P. infestans* a été considéré comme la principale cause de la famine irlandaise de la pomme de terre en raison de laquelle des millions d'être humains ont péri et de nombreux autres ont migré vers d'autres pays (Narayanasamy, 2008).

4.2.1 Origine et migration

La première théorie, acceptée jusqu'au milieu des années 1950, situe l'origine du *P. infestans* dans la même partie du monde que l'ancêtre de la pomme de terre soit dans les Andes en Amérique du Sud. Cependant, cette idée ne fait pas l'unanimité en raison de manque de preuves de la présence du champignon dans les Andes avant la fin du 19^{ème} siècle. Une seconde hypothèse prétend que le centre d'origine du *P. infestans* est localisé dans les montagnes du Mexique central puisque dans cette région la diversité des populations du champignon est maximale et que la reproduction sexuée semble exister depuis toujours. La théorie la plus acceptée aujourd'hui est donc celle préconisant une migration du *P. infestans* à partir du Mexique vers les États-Unis et de là vers l'Europe. Il n'est également pas exclu que le champignon puisse avoir été transporté directement du Mexique vers l'Europe (Lacroix, 1999).

4.2.2 Classification

Phytophthora infestans (Mont) de Bary, 1876 est un Oomycète, classifié comme étant dans l'ordre Peronosporale. Cet ordre contient trois familles des agents phytopathogènes : les *Péronosporacées*, les *Pythiacées* et les *Albuginacées*. La famille des *Pythiaceae* contient deux grands genres des champignons phytopathogènes : les *Pythium* et les *Phytophthora* (Kerroum, 2019). Dans les anciennes classifications, plusieurs caractéristiques phénotypiques et biochimiques ont conduit au classement des Oomycètes au sein du règne des champignons. Parmi ces caractéristiques communes, on trouve la structure filamenteuse, l'absence de pigment chlorophyllien et l'organotrophie. Les dernières études taxonomiques et phylogéniques ont démontré que les Oomycètes sont des stramenopiles, et donc plus proches des algues brunes que des champignons supérieurs (Kroon et al., 2004 ; Avila-Adame et al., 2006).

Selon Agrios (2005), la classification de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary s'établit comme suit:

Tableau 17: Classification taxonomique de *Phytophthora infestans*

Règne :	Chromista ou Stramenopila
Phylum :	Oomycota
Classe :	Peronosporae
Ordre :	Péronosporales
Famille :	Peronosporaceae
Genre :	Phytophthora de Bary
Espèce :	Phytophthora infestans(Mont.) de Bary

4.2.3 Biologie de *Phytophthora infestans*

4.2.3.1 Description morphologique

P. infestans possède un mycélium coenocytique hyalin et un développement endogène (Chamont, 2010). Le caractère morphologique principal de ce pathogène est la présence de renflement ou de gonflement au niveau des sites de ramification en particulier aux points de la formation des sporocystes (Thurston et Schultz, 1981) (**figure 18**). Les sporanges sont citriformes ou limoniformes et possèdent une papille apicale. Les sporanges de *P. infestans* sont de forme ovoïde, à elliptique effilé à la base, et renferment des cellules mobiles appelées zoospores qui assurent la reproduction asexuée. Ces zoospores se déplacent grâce à deux flagelles dissemblables. Le flagelle orienté antérieurement est couvert de poils particuliers ou mastigonèmes, tubulaires et tripartites, d'où le nom d'hétérocontes (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). 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).

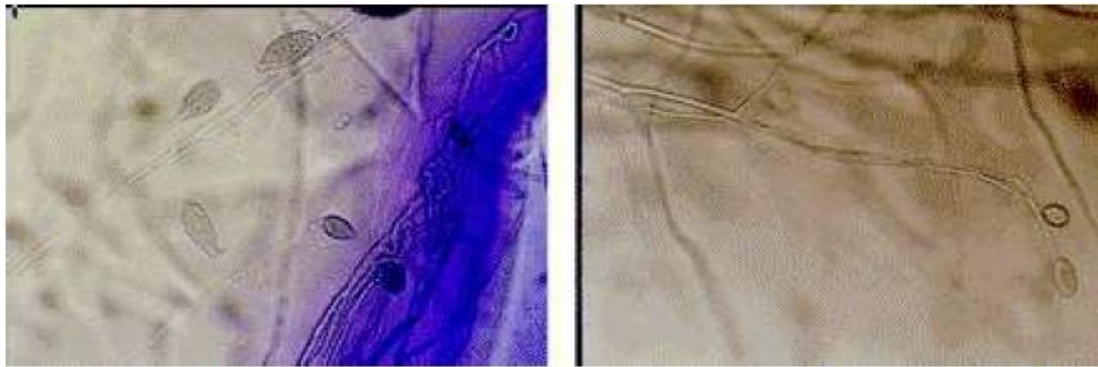


Figure 18: Sporangies et sporangiophores de *Phytophthora infestans* (Grossissement X 80)

4.2.3.2 Aspect cultural de *Phytophthora infestans*

P. infestans se comporte dans la nature comme un biotrophe obligatoire (Isaac, 1992 ; Kosack et Parker, 2003), sans capacité de survie saprophytique, mais il peut tout de même être isolé et cultivé en milieu de culture artificiel. En culture, les colonies de *P. infestans* sont aériennes, blanchâtres et à aspect laineux (Andrивon, 1995) (**Figure 19**).



Figure 19: Isolat de *Phytophthora infestans* en culture sur milieu gélosé à base de petit pois (Photographie INRA – R. Corbière).

4.2.3.3 Gamme d'hôtes

En plus de la pomme de terre et de la tomate, plusieurs solanacées constituent des hôtes préférés de l'espèce *P. infestans* (Grünwald et Flier, 2005). D'après Andersson (2007), *P. infestans* est capable d'infecter d'autres hôtes alternatifs tel que : *Solanum nigrum* (morelle noire) et *Solanum physalifolium*. La pathogénicité de ce champignon ne se limite pas seulement aux grandes cultures naturelles, puisqu'environ 89 espèces ont été révélées des hôtes pour ce pathogène (Erwin et Ribeiro, 1996). Ainsi, la large apparition de nouveaux génotypes de *P. infestans* a contribué à l'élargissement de la gamme d'hôtes de ce pathogène (Grünwald et Flier, 2005).

4.2.4 Cycle biologique

Les principales phases du cycle de développement du parasite et de la maladie sur la pomme de terre sont présentées sur la **figure (20)**. Il présente deux formes de reproduction, asexuée et sexuée. Un cycle de la maladie (monocycle) correspond à la période qui s'écoule entre deux générations de spores, de l'infection à la production d'une nouvelle génération de spores. Ce cycle se décompose lui-même en plusieurs étapes : la période d'incubation qui correspond au laps de temps qui s'écoule entre l'infection et l'apparition des premiers symptômes et la période de latence qui correspond au laps de temps entre l'infection et la production de nouvelles spores. La dispersion des spores asexués par le vent ou la pluie forme le point de départ d'une épidémie de mildiou. Les épidémies de mildiou sont dites polycycliques, car elles sont causées par la récurrence et la juxtaposition des monocycles (Le poivre, 2003).

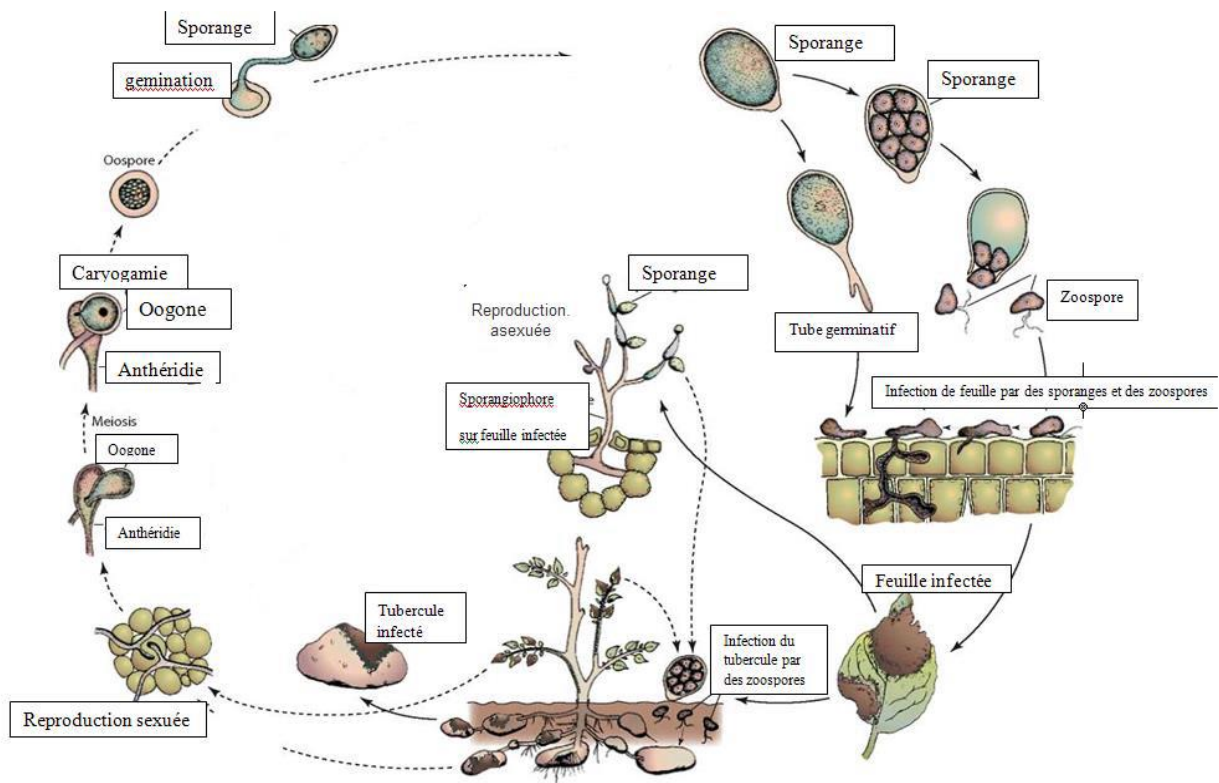


Figure 20: Cycle biologique du mildiou de la Pomme de terre et de la Tomate par *Phytophthora infestans* (Agrios,2005).

4.2.4.1 Reproduction sexuée

La reproduction sexuée est le moyen le plus efficace pour induire une importante diversité génotypique, qui permettra au pathogène de s'adapter et faire face aux contraintes du milieu extérieur

(Fry et al., 1992). Le type de compatibilité est un trait important pour la caractérisation des populations de *P. infestans*.

Phytophthora infestans est une espèce hétérothallique. Lorsque des mycéliums de types sexuels différents se rencontrent, ils forment des oogones et des anthéridies, donnant naissance à des spores sexuées, les oospores. Ces oospores sont sphériques et ont une paroi épaisse. Leur durée de vie en dehors du tissu hôte est relativement longue (quelques semaines à plusieurs années). Lorsqu'elles germent, les oospores forment un tube germinatif à l'extrémité duquel apparaît un sporange, qui germe à son tour soit directement, soit après avoir formé des zoospores.



Figure 21: Oospore de *Phytophthora infestans* colorée au bleu Coton et observée au microscope au grossissement 1000 (Photographie INRA – R. Corbière) .

4.2.4.2 Reproduction asexuée

P. infestans se caractérise par un cycle majoritairement aérien. Le mycélium se développe dans les tissus de l'hôte (organes aériens et tubercules) et produit, à leur surface, des sporangiophores sur lesquels se forment des sporanges. Ces sporanges, typiques de la reproduction asexuée, peuvent se disperser par voie aérienne ou par l'eau et atteindre ainsi le feuillage de plantes voisines (Medina et Platt, 1999).

Il faut un taux d'humidité relative supérieur à 90 % et une température comprise entre 3 et 26°C (optimum à 21 °C) pour que la sporulation ait lieu (Crosier, 1934; Harrison, 1992). La durée de vie des sporanges en dehors du tissu hôte est relativement courte (quelques heures à quelques jours). Sur des tissus hôtes sensibles, ils peuvent germer directement (température optimale de 24°C) et on parle de germination directe, tandis qu'autour de 12 °C, ils forment environ 10 à 12 zoospores biflagellées qui se déplacent en nageant dans l'eau libre avant de s'enkyster, puis de former un tube germinatif (germination indirecte) (Rakotonindraina, 2012). Sur les feuilles et les tiges, les tubes germinatifs peuvent pénétrer directement l'épiderme de la plante (aucun stomate n'est requis) (Henfling, 1987).

4.2.5 L'influence de certains facteurs sur la croissance mycélienne et la sporulation chez *Phytophthora infestans*

P. infestans est un parasite exigeant qui nécessite certains facteurs stricts pour se développer et se reproduire.

4.2.5.1 Les facteurs trophiques

P. infestans peut être cultivé in vitro sans plante hôte sur différents substrats liquides ou gélosés, synthétique ou à base d'extraits végétaux. Les souches du pathogène exigent des apports particuliers pour pousser en dehors de la plante. Certains isolats, se développant sur le milieu synthétique, exigent des sources d'azote particulier tel que le nitrate, l'ammonium, l'asparagine, l'histidine et la purine (Hohl, 1983).

Les valeurs élevées du rapport C/N (50 à 100) favorisent la croissance mycélienne au détriment des différentes formes de sporulation. C'est autour de 30 que la valeur du rapport C/N est la plus favorable à la reproduction sexuée (Boccas, 1979).

4.2.5.2 Les facteurs climatiques

Les exigences thermiques des *Phytophthora* sont diverses, adaptées aux conditions d'environnement des différentes espèces dans leur biotope (Boccas, 1979).

Température : Chez plusieurs espèces de *Phytophthora*, les températures favorables à la reproduction sexuée sont sensiblement inférieures à celles de la croissance mycélienne (Drenth et *al.*, 1995). La production des oospores est obtenue in vitro à des températures comprises entre 18 et 21°C et in vivo de 8 à 20°C (Cohen et *al.*, 1997 ; Drenth et *al.*, 1995).

Humidité : Le développement et la reproduction de *P. infestans* sont largement déterminés par les conditions d'humidité (Harrison, 1992). Une humidité relative supérieure à 90% est très favorable à la germination et la production des spores (Krause et *al.*, 1975).

Lumière : Possède une action inhibitrice sur la reproduction sexuée chez les espèces du genre *Phytophthora*. C'est la phase d'induction précédant la différenciation des gamétocystes qui est photosensible (Boccas, 1979).

Chapitre(03):

La lutte contre le Mildiou



1 Les méthodes de la lutte

1.1 La lutte prophylactique

La lutte prophylactique consiste d'abord à limiter au maximum les sources d'inoculum primaire par rotations culturales pour éviter les infections par les oospores, et élimination des tas de déchets, issu de la récolte précédente. Les tas de déchets constituent selon Boyd (1974), la source principale d'inoculum primaire (Montarry ,2007), et pour les détruire, on utilise l'un des deux méthodes suivant :

➤ Le bâchage .Il s'agit de poser une bâche plastique en bon état (type ensilage) avant l'apparition de toute végétation en prenant soin de bien la maintenir au sol.

➤ L'application de chaux vive est à préférer si le tas est volumineux, qu'il contient beaucoup de tubercules ou si le risque d'écoulement de jus est important. Tous les tas de déchets devront être détruits au plus tard au moment des plantations (instituteur du végétal, 2017). La prévention des épidémies passe également par l'utilisation des tubercules de semences sains. 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 le pathogène et de se développer au printemps suivant (Legemble, 2008).



Figure 22: Des déchets organiques. D'après : <https://www.linfordurable.fr/>

1.2 La lutte chimique

La lutte chimique, avec l'utilisation des fongicides, reste la principale mesure de lutte contre le mildiou de la pomme de terre (Sedlkáová et al., 2011). Une lutte efficace au moyen de fongicide nécessite une bonne couverture du feuillage, des doses convenables et un calendrier d'application adéquat. De manière générale, les fongicides sont plus efficaces aux premiers stades de l'infection, avant l'apparition des symptômes. Toutefois, aucun fongicide ne peut traiter une infection bien établie. Les fongicides contre le mildiou sont essentiellement des fongicides à action préventive et ne sont pas particulièrement persistants. Ils doivent servir à protéger les plants comme le ferait une pulvérisation

prophylactique, dans le cadre d'une stratégie globale visant à empêcher que la maladie infecte la récolte.

Les fongicides de contact ne font que protéger le plant où la pulvérisation est déposée ou à l'endroit où elle est subséquemment redistribuée par la moisissure. Les fongicides de contact ne pénètrent pas dans le plant et sont donc vulnérables à l'érosion par le vent, la pluie et la dégradation par les rayons du soleil. Ils ne protègent pas la croissance de nouveaux plants après que la pulvérisation a été appliquée. Ces fongicides ne sont pas efficaces contre les infections au mildiou déjà établies.

Les fongicides translaminaires sont absorbées par les feuilles et présentent une redistribution limitée de la surface supérieure vaporisée à la surface inférieure non vaporisée. Ils sont généralement plus résistants au délavage par la pluie que les fongicides de contact, mais ne pénètrent pas dans le plant pour protéger la nouvelle croissance. Comme le fongicide INFINITO (INFINITO - Fongicide pour pomme de terre et légume , 2020).



Figure 23: INFINITO est un fongicide préventif, translaminaire (INFINITO - Fongicide pour pomme de terre et légume , 2020)

Les fongicides systémiques sont absorbées dans le tissu végétal et peuvent offrir une certaine activité post-infection. Très peu de fongicides sont réellement systémiques (c'est-à-dire se déplacent librement à l'intérieur du plant); toutefois, certains présentent une systémie ascendante (c'est-à-dire ne se déplacent qu'en amont du plant par la cellule aréolée) et certains sont localement systémiques (c'est-à-dire se déplacent dans les feuilles traitées et se redistribuent à un certain degré dans la zone traitée du plant) (Al-Mughrabi, 2011).

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 consommateurs 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, 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).



Figure 24: Évaporation des fongicides sur un champ de pomme de terre.

1.3 La 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*. Cependant, le nombre élevé de gènes impliqués dans ces résistances rend leur sélection difficile, mais offre en général, de meilleures garanties de durabilité. Les sélectionneurs s'orientent vers la recherche de résistances polygéniques.

La gestion de ces résistances, pour éviter leur érosion, consiste à raisonner la lutte en associant différentes résistances (spécifiques et non spécifiques) ou une résistance partielle et une utilisation judicieuse des fongicides. (Montarry, 2007).

1.4 La 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 de méthodes alternatives de protection des cultures, plusieurs laboratoires académiques et publics ainsi que des entreprises privées dans le monde, se sont intéressés

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

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* telles que, *Pseudomonas* sp, pourraient contribuer à limiter l'infection du feuillage ou des tubercules de pomme de terre (Lacey, 1965; Malajczuk, 1983; Andrivon, 1994).

1.5 Les alternatives au cuivre

le cuivre dans la lutte contre le mildiou a été réalisé en conditions contrôlées (laboratoire). Une large gamme de produits comme, des formulations à doses très faibles de cuivre, des suspensions d'antagonistes, des extraits d'acides aminés, des extraits de plantes, des sels de potassium, des formulations à base de soufre, des formules d'eau oxygénée stabilisées avec des molécules organiques et des rhamnolipides ont été évaluées.

Les suspensions de produits ont été appliquées par vaporisation sur des plantes de pommes de terre entières. Pour tester la protection fongicide, le produit est appliqué 4 jours avant l'inoculation du mildiou. Par contre, pour évaluer l'efficacité de produits stimulateurs des défenses naturelles de la plante, le produit est appliquée 4 fois au cours de la croissance de la plante. La dernière application étant réalisée 4 jours avant l'inoculation du mildiou. Une fois le ou les traitements réalisés, le mildiou est appliqué, sous forme de gouttelettes d'une concentration de 50.000 sporanges/ml, sur feuilles détachées. Les feuilles sont ensuite incubées durant 6 jours à 18°C et humidité saturante en vue de mesurer l'apparition des symptômes.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec des formulations présentant des doses réduites de cuivre et avec les sels de potassium (phosphites). Les rhamnolipides et deux additifs (H₂O₂ et une suspension d'acides-aminés) présentent aussi des résultats intéressants qu'il faudrait valider au champ. En conclusion de ces essais, des investigations permettant de remplacer à terme le cuivre en agriculture biologique doivent encore être poursuivies (l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 2018) (Figure 25).



Figure 25: Gouttelettes de mildiou appliqué sur les feuilles de la pomme de terre après la réalisation de traitement.

2 La lutte biologique

2.1 Définition

La lutte biologique se définit par l'utilisation de micro-organismes vivants. Ou de leurs produits pour empêcher ou réduire les pertes ou les dommages causés par l'organisme pathogène, elle consiste à agir sur la régulation des populations de ces organismes nuisibles pour réduire leurs dégâts à un seuil économiquement acceptable, en établissant, au sein de l'agro-écosystème, un équilibre biologique stabilisé (Spielman *et al.*, 1991).

Les micro-organismes pathogènes peuvent être neutralisés par des mécanismes très variés qui aboutissent à leur destruction, ou à leur modification. On appelle ce microorganisme les antagonistes. Plusieurs antagonistes peuvent être dans la lutte biologique. nous citerons l'exemple des bactéries parmi elles le genre *Pseudomonas*, et l'exemple des champignons eux le genre *Trichoderma*. ces derniers étant les plus préconisés dans la lutte contre le *Phytophthora* (Davet, 1996).

2.2 Lutte biologique par *Trichoderma*

L'utilisation de *Trichoderma* comme agent de contrôle biologique, nécessite l'étude de la prolifération, du mécanisme biologique et les facteurs de l'environnement qui gouvernent l'interaction entre l'antagoniste et le champignon phytopathogène. Le champignon *Trichoderma* est considéré comme un facteur essentiel dans la lutte biologique puisque la plupart de ces espèces intervient dans la lutte des microorganismes nocifs, surtout pour le champignon comme *Phytophthora infestans*. L'efficacité du genre *Trichoderma* dans l'inhibition des organismes pathogènes repose surtout sur leur capacité à produire plusieurs substances ou antibiotiques tels que (Viridine, Gliotoxine...), ces derniers sont considérés comme des armes contre les organismes phytopathogènes (Harman et Kubicek, 1998).

produit également des enzymes (cellulase, chitinase) à qui provoque la lyse du *Phytophthora* dans la pomme de terre .

2.2.1 Généralités sur *Trichoderma*

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

L'apport et l'installation d'un agent antagoniste au sein d'un écosystème nécessitent la connaissance du microorganisme, ses modes d'action et ses exigences écologiques (Benhamou et Chet, 1997). Les espèces de *Trichoderma* sont des champignons filamenteux cosmopolites, caractérisés par leur croissance rapide, leur capacité d'utiliser divers substrats et leur résistance à des agents chimiques nocifs (Klein et Eveleigh, 1998). L'apport de matière organique dans les sols permet donc, aux *Trichoderma* spp et autres agents antagonistes d'y exprimer leurs capacités antagonistes.



Figure 26: Culture du *Trichoderma* dans une boîte de pétri (Giraud, 2018).

2.2.2 Taxonomie

Les *Trichoderma* se présentent sous deux formes :

- La **forme parfaite**
- La **forme imparfaite ou anamorphe**

Les travaux de Rifai (1969) et les méthodes d'ADN ont pu mettre en évidence une classification phylogénique pour le genre de *Trichoderma* (Kullnig-Gradinger *et al.*, 2002 ; Lieckfeldt and Seifert, 2000). De ce fait, le genre *Trichoderma* est classé comme suit :

Tableau 18: Classification taxonomique de Trichoderma

- Règne :	Fungi
- Embranchement :	Amastigomycota et/ou Eumycètes
-Division :	Ascomycota
-Sous division :	Pezizomycotina
-Classe :	Sordariomycètes
-Sous classe :	Hypocreomycetidae
-Ordre :	Hypocréales
-Famille :	Hypocraceae
-Genre :	<i>Trichoderma</i> (Bissett, 2004).

Vue le nombre croissant de nouvelles espèces de *Trichoderma spp*, Bisset en 1991, propose la notion de « section » se basant sur la morphologie des conidiophores et des phialides , il classe les différents espèces en cinq sections selon (la figure 27) : *Trichoderma*, *Pachybasium*, *Hypocreanum* , *Longibrachiatum* et *Saturnisporum* (Mukherjee et al.,2013).

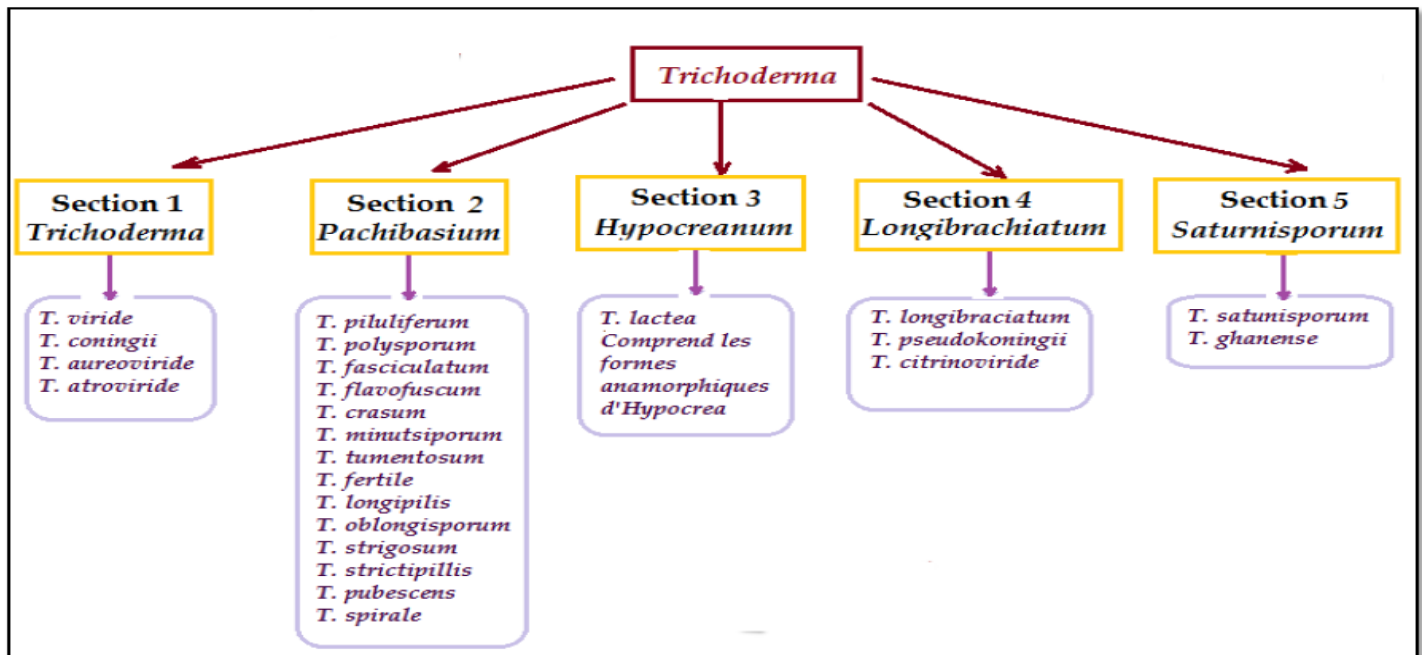


Figure 27: Les 5 sections systématiques du genre Trichoderma spp, selon (Bisset, 1991).

2.2.3 Distribution écologique

Grace à sa grande capacité d'adaptation aux différentes conditions climatiques, le genre *Trichoderma* est très répandu dans la nature, aussi bien en milieu terrestre que marin. Les *Trichoderma spp* sont remarquables pour leur croissance rapide et leur capacité à utiliser différents substrats. Le genre *Trichoderma* vient à la 3^{ème} position après les genres *penicillium* et *Aspergillus* en importance numérique. L'abondance des *Trichoderma spp* dans les écosystèmes est due à leur capacité à produire diverses substances bioactives et des enzymes. Ils sont de ce fait, un maillon important dans les chaînes biologiques (Mohamed- Benkada, 2006).

2.2.4 Importance des *Trichoderma*

Ce genre de champignons affiche un remarquable éventail de modes de vie et des interactions avec d'autres champignons, des animaux et des plantes.

Certaines espèces sont économiquement importantes par leur aptitude à la production d'enzymes industrielles (Sivasithamparam et Ghisalberti, 1998) et des antibiotiques (Harman et Kubicek, 1998). D'autres espèces de *Trichoderma* ont prouvé leur capacité à parasiter les champignons pathogènes par la concurrence pour les nutriments et l'espace. Elles peuvent agir aussi par la production de métabolites secondaires toxiques, ou par des enzymes lytiques qui, décomposent les polysaccharides de la paroi cellulaire.

Dans ce contexte, *H. lixii* Pat. / *T. harzianum* Rifai., *H. atroviridis* Dodd, Lieckf. & Samuels/ *T. atroviride* Karst. et *T. asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg, Sont appliqués comme agents de lutte biologique contre les champignons pathogènes des plantes pour une grande variété de cultures et de climats (Hjeljord et Tronsmo 1998 ; Harman, 2000). Par ailleurs, la colonisation racinaire des *Trichoderma* est largement démontrée pour améliorer aussi la croissance et le développement des racines, la productivité des cultures, leur résistance aux stress abiotiques et l'adoption et l'utilisation des nutriments (Kubicek et Harman, 1998).

2.2.5 Biocontrôle par *Trichoderma*

Les propriétés antagonistes du genre *Trichoderma* sont connues depuis longtemps. Il a été utilisé comme agent de lutte biologique contre un large spectre de phytopathogènes. Son antagonisme se manifeste généralement soit par une compétition, par un mycoparasitisme, ou par une antibiose. Ces mécanismes peuvent intervenir seuls, en association ou séquentiellement (Lepoivre, 2003).

Cette espèce agit comme un parasite sur d'autres champignons. De nombreuses autres espèces de *Trichoderma* principalement *T. harzianum* Rifai, *T. viride* Pers. et *T. asperellum* (Figure 7) sont utilisées dans la lutte biologique contre de nombreux champignons phytopathogènes (Schuster et Schmoll, 2010).

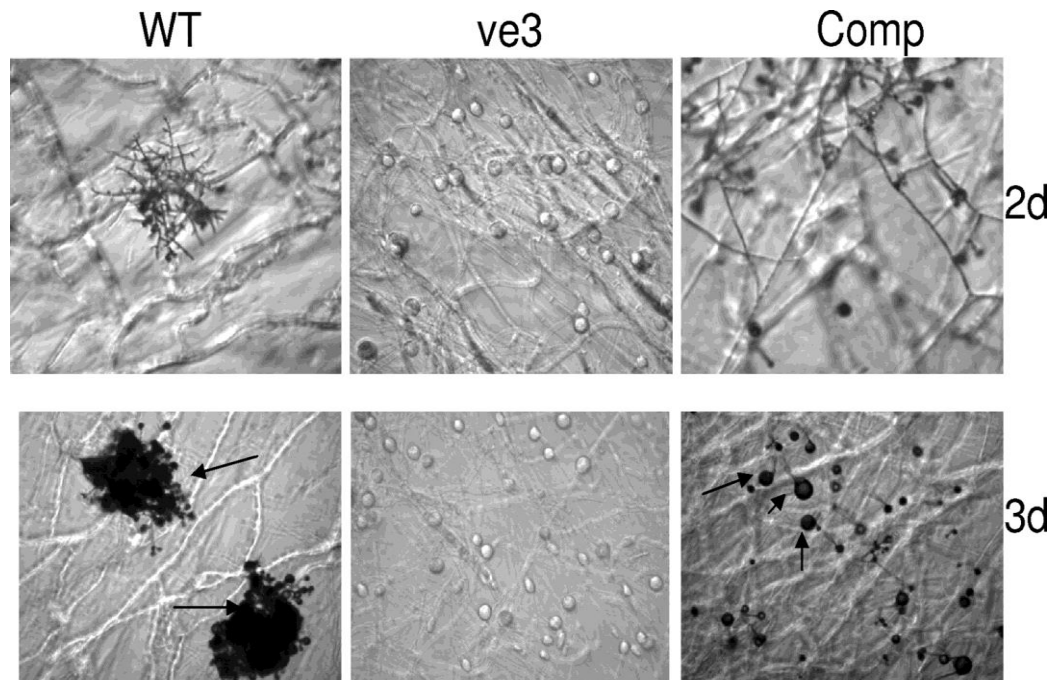


Figure 28: Régulation De La Morphogenèse Et Des Propriétés De Biocontrôle Dans Trichoderma (Mukherjee & Kenerley, 2010).

2.3 Lutte biologique par *Pseudomonas*

Les espèces du genre *Pseudomonas* utile pour les plantes sont de grande majorité de la microflore rhizosphérique et qui semble être près de la pomme de terre (PGPR) (the plant growth promoting Rhizobacteria).

Les *Pseudomonas* sont connus pour être d'excellents agents de la lutte biologique, exerçant une action antifongique (antibiotique, enzymatique) est stimulée en présence de forte concentration de N-acyl-L-homoserin lactone dans les sites intracellulaires (Chin, Woeng *et al.*, 1997).

La pénétration du *Pseudomonas* dans la plante se fait à partir des racines de la pomme terre puis se propage dans les tubercules par les ponctuations. L'arrosage des plantes par une solution de *Pseudomonas* diminue l'infection à 50% et le traitement utilisé après la récolte réduit l'infection à 75%. *Pseudomonas fluorescens* se trouve naturellement dans les racines de la plante de pomme de terre il secrète un pigment fluorescent (*pyoverdine*) qui provoque la réduction de *P.infestans* (Spielman ,1991).Les *sidérophores* (faible poids moléculaire) synthétisées par *Pseudomonas* sont importantes dans la suppression de pathogènes des plantes comme *Phytophthora sp* (Leong, 1986).

2.3.1 Généralités sur *Pseudomonas*

Le genre *Pseudomonas* a été proposé par Migula en 1894 et a depuis été révisé à plusieurs reprises (Gaignard, and Luisetti, 1993; Kersters *et al.*, 1996; Paulin *et al.*, 2001) . Ce genre comprend en effet plus d'une centaine d'espèces ubiquitaires (dont l'espèce type est *Pseudomonas aeruginosa*,

généralement appelée *Bacille pyocyannique*). Ce genre est capable de coloniser le sol, la rhizosphère, la phyllosphère, les tissus végétaux et animaux en décomposition, l'eau douce et l'eau de mer (Gaignard, and Luisetti, 1993; Peix *et al.*, 2009). Ils sont Peu exigeantes, cultivant de 0 à 30 °C . Les Pseudomonas appartiennent au groupe des Eubactéries non photosynthétiques et chimiotrophes, à l'ordre des Eubacteriales, et à la famille des Pseudomonadaceae (Buchanan, 1917; Winslow *et al.*, 1917). C'est un bacille gram négatif mobile (1 à 3 flagelles) .Le genre Pseudomonas rassemble les espèces dites «fluorescentes». Ces espèces «fluorescentes» se caractérisent par la production de pyoverdines, qui sont des pigments fluorescents jaune-verts.



Figure 29 : Pseudomonas sous microscope (CDC, 1979).

2.3.2 Taxonomie

La famille des Pseudomonadaceae regroupe actuellement 5 genres : Pseudomonas, Comamonas, Frateuria, Xanthomonas et Zoogloea (Bergey, 1984).En 1984, Palleroni subdivise le genre Pseudomonas en 5 groupes (I à V) sur la base de l'hybridation ADN-ARN. Puis, entre 1984 et 2000, les espèces des groupes II à V sont transférées dans d'autres genres (Tableau). Le genre Pseudomonas est alors restreint aux espèces du groupe ARN de type I (Tournus, 2016).

Tableau 19: Classification des Pseudomonaceae selon Palleroni et Doudoroff

Groupe D'ARN	Genre
Groupe I	<i>Pseudomonas stricto sensu</i>
Groupe II	<i>Burkholderia , Pandoraea , Ralstonia</i>
Groupe III	<i>Acidovorax , Camamonas , Delftia</i>

Groupe IV	<i>Brevundimonas</i>
Groupe V	<i>Stenotrophomonas</i>

De ce fait, le genre *Pseudomonas* est classé comme suit :

Tableau 20: Classification taxonomique de *Pseudomonas* (Polese, 2006).

- Règne :	Bacteria
- Embranchement :	Bacteria
-Division :	Proteobacteria
-Classe :	Gammaproteobacteria
-Ordre :	Pseudomonadales
-Famille :	Pseudomonadaceae
-Genre :	<i>Pseudomonas</i> (Migulla, 1894).

D'un point de vue taxonomique les *Pseudomonas* «fluorescents» sont très complexes (Rhodes, 1959; Jessen, 1965; Stanier *et al.*, 1966).

2.3.3 Distribution écologique

Les espèces de *Pseudomonas* décrites durant la dernière décennie montrent que c'est l'un des genres bactériens les plus ubiquistes dans le monde, et différents espèces ont été isolées de niches écologiques diverse.

2.3.4 Importance des *Pseudomonas*

Les *Pseudomonas spp* fluorescents font l'objet d'une attention particulière. L'inoculation des plantes à l'aide de certaines souches de *Pseudomonas spp* s'accompagne en effet d'une augmentation significative du rendement de la culture. Celle-ci résulte de la stimulation de la croissance des plantes et de leur protection contre des microorganismes pathogènes. Deux types de mécanismes sont responsables de ces effets bénéfiques. L'un concerne la modification des équilibres microbiens au niveau de la rhizosphère, l'autre la modification du métabolisme et de la physiologie de la plante. Ainsi, la compétition et l'antibiose exercées par les *Pseudomonas spp* réduisent la densité et l'activité néfaste de microorganismes pathogènes. Les *Pseudomonas spp* affectent également la croissance des plantes en améliorant leur alimentation minérale et en synthétisant des substances de croissance. Ces bactéries peuvent enfin provoquer une augmentation du niveau de résistance des plantes aux maladies (Lemanceau, 1992).

2.3.5 Biocontrôle par *Pseudomonas*

Durant les trois dernières décennies, les bactéries appartenant au genre *Pseudomonas* ont été identifiés comme agents potentiels de biocontrôle, à l'encontre des phytopathogènes.

Les *Pseudomonas spp. fluorescents* saprophytes sont impliqués dans de nombreuses interactions avec les plantes (Schroth *et al.*, 1992). Ces bactéries sont responsables de la suppression des maladies fongiques dans les cultures. Ces *Pseudomonas* diminuent la sévérité de la maladie et stimulent la croissance des plantes comme le riz (Sakhivel et Gnanamanickam, 1987), le blé (Weller et Cook 1983), la pomme de terre (Kloepper *et al.*, 1980b). Différentes espèces de *Pseudomonas spp. fluorescents* ont été rapportés à la fois comme PGPR (plant growth promoting rhizobactéria), et comme souches de biocontrôle des champignons phytopathogènes (de Salmone *et al.*, 2001) comme : *P. aeruginosa* (Bano et Musarrat, 2003).

Toutefois, les *Pseudomonas spp. Fluorescents* ne sont pas tous des antagonistes.

2.4 Mécanisme d'action des microorganismes antagonistes

La protection conférée par un microorganisme de lutte biologique s'appuie sur un ou plusieurs mécanismes d'antagonisme, est une interaction directe entre deux microorganismes partageant la même niche écologique (Alabouvette *et al.*, 2006), tels que la compétition (pour éléments nutritifs, l'oxygène, l'espace), l'antibiose, le parasitisme et la production des sidérophores. L'étude de ces mécanismes d'action est une étape importante dans le développement de la lutte biologique (Jijakli, 2003).

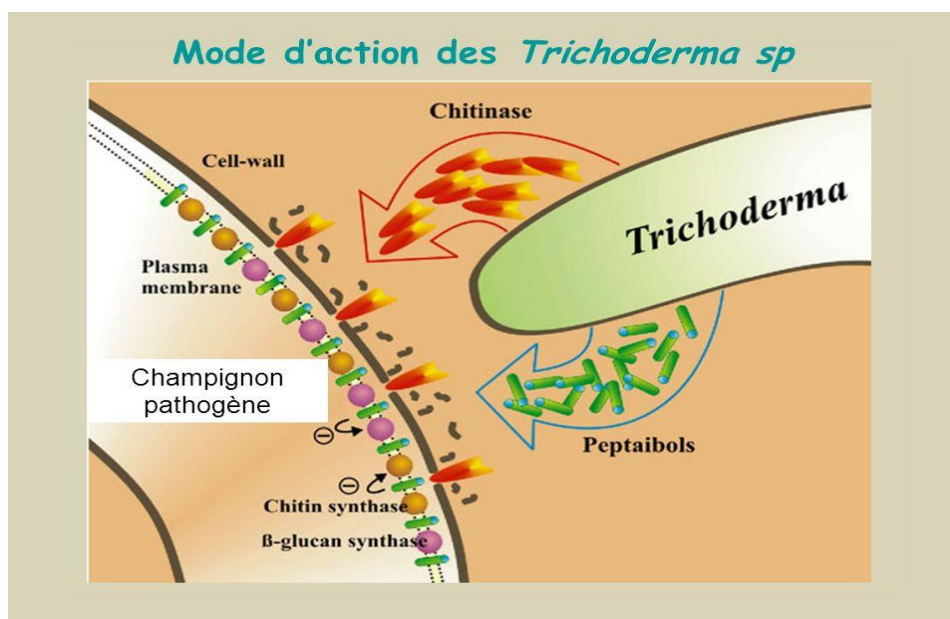


Figure 29: Mécanisme d'action des *Trichoderma sp* (Jijakli, 2003).

2.4.1 L'antibiose et la production d'antibiotique

L'antibiose par définition est l'inhibition de l'agent phytopathogène par la production des métabolites secondaires par un autre micro-organisme. En général, ces métabolites sont des métabolites secondaires à faible poids moléculaire ayant une fonction antifongique et/ou antibactérienne. Certains métabolites sont capables d'interférer avec la germination, la croissance mycélienne et/ou la sporulation des agents phytopathogènes, D'autres entraînent l'ère largage de composés cellulaires suite à la perturbation de la perméabilité cellulaire. Les produits métaboliques sont de différentes natures comme des enzymes lytiques, des peptides ou protéines antimicrobiens, des polyketides, des composés phénoliques etc. Cette production est influencée par des facteurs abiotiques et biotiques qui sont surtout liés à l'interaction de l'agent antagoniste avec la plante et la microflore du sol. L'antibiose est le mode d'action le plus étudié chez les agents de lutte biologique (Jijakli, 2003).

2.4.2 Parasitisme et production des enzymes

Ce mécanisme de lutte consiste en une interaction directe entre deux microorganismes ou les tissus vivants de l'un constituent une base nutritive pour l'autre. Il implique l'invasion des cellules de l'agent pathogène par le microorganisme Antagoniste (Corbaz, 1990). L'agent antagoniste utilisera des enzymes lytiques tels que des glucanases, des chitinases et des lysozymes pour dégrader les parois de l'agent pathogène (Valueva et Mosolor, 2004). *Trichoderma* produit des β -glucanases par le phénomène du mycoparasitisme en dégradant les parois de *Sclerotium rolfsii*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea* et *Pythium ultimum* (kerroum, 2019) (figure 30).

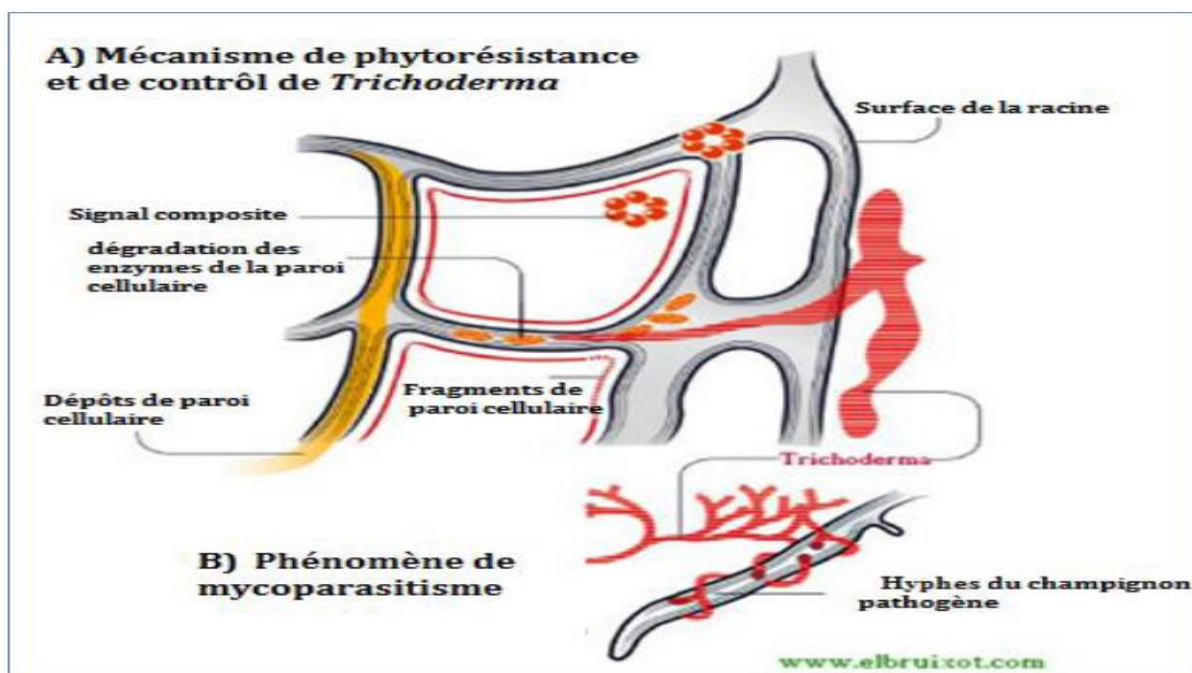


Figure 30: Phénomène de mycoparasitisme du *Trichoderma*.

2.4.3 Induction des systèmes de résistance de la plante hôte

Des microorganismes de lutte biologique sont capables de déclencher une résistance systémique induite (ISR) chez la plante hôte, ce qui peut rendre l'hôte plus résistant à l'agression future par des agents pathogènes (Jijakli, 2003). Les mécanismes développées par les plantes permettent de se protéger contre un large spectre de pathogénèse, pas seulement fongique, bactériens et viraux, mais aussi vis-à-vis de maladies causées par certains insectes et nématodes (kerroum, 2019).

2.4.4 La compétition

La compétition entre deux ou plusieurs microorganismes concerne soit l'élément nutritif, l'espace ou les autres facteurs environnementaux qui deviennent limitatifs pour la croissance. La compétition spatiale contribue aussi à la réduction des infections racinaires par les agents phytopathogènes. En effet, les microorganismes ayant la capacité de coloniser les racines comme les bactéries promotrices de la croissance des plantes (Plant Growth Promoting Bacteria, PGPB) protègent les racines et occupent les sites d'infection aux agents phytopathogènes (Benítez *et al.*, 2004).

3 Des conseils pour lutter contre le mildiou

3.1 Respecter les mesures prophylactiques et bien implanter la culture (état sanitaire des plantes)

- **La vérification de l'état saine des plantes (semences saines) :**

- Semer une graine saine. Inspecter les pommes de terre de semence dans les 24 heures suivant leur livraison.
- Vérifier la présence de mildiou sur les lots de semence avant de les planter.
- Classer les pommes de terre de semence après les avoir coupées afin de retirer tout tubercule infecté par le mildiou.
- Désinfecter fréquemment l'équipement servant à couper les semences.
- Immédiatement après les avoir coupées, traiter les semences à l'aide d'un fongicide recommandé pour les plantons à base de mancozèbe (Al-Mughrabi, 2011).

- **Eviter la dissémination de la maladie dans la nature par une bonne gestion des écarts de triage et des résidus de culture :**

Choix judicieux du lieu de stockage, donc il faut éviter :

- L'écoulement des jus vers les fossés, les points d'eau de surface ou la nappe par la réalisation d'une ceinture de rétention autour du silo.
- Les nuisances, odeurs et développement des insectes près des habitations.
- Les dépôts dans les périmètres de protection des captages d'eau.

- Pas de stockage dans les zones de protection des captages d'eau potable (note nationale MILDIOU pommes de terre, 2009).
- **Mettre en œuvre une gestion efficace des tas de déchets et écarts de triage :**
 - A la chaux vive, s'il y a beaucoup de tubercules :
 - Il faut mélanger la chaux aux pommes de terre à la dose de 10 % du tonnage à traiter.
 - Se protéger lors de l'application de la chaux par le port d'un masque, de lunettes, de gants
 - Pose d'une bâche plastique lorsqu'il y a principalement de la terre (écart de triage) :
 - Il faut Recouvrir le tas de déchets d'une bâche de type ensilage avant l'apparition de la végétation.
 - La bâche doit être en bon état et maintenue au sol (terre, lestage mobile,...)
 - éliminer le plus possible les repousses :
 - Les repousses de pomme de terre dans les autres cultures favorisent la dissémination du mildiou. Il est donc important de limiter leur développement (note nationale MILDIOU pommes de terre, 2009)
 - Pour les champs sans semence où on constate la présence de mildiou, envisager d'appliquer un inhibiteur de germination pour contrôler les repousses l'année suivante.
 - La Mise en place de lutte culturale :
 - Eviter de laisser trop de tubercules au terrain lors de la récolte.
 - Lorsqu'on découvre le mildiou, il faut procéder au défanage ou à l'épuration d'une superficie deux fois supérieure à celle de la zone infectée
 - Eviter l'enfouissement des tubercules à la récolte (Abgrall, 2015).
 - Utiliser un plant sain et gérer l'implantation des parcelles :
 - Bordure de parcelle notamment près de bois, de chemin, de haie.
 - Utiliser des plants sains (certifiés).
 - Ne pas implanter les zones qui ne pourront pas être correctement protégées
 - Lors de la plantation, il sera également important de tenir compte de la distance du point d'eau le plus proche.

3.2 Traiter au meilleur moment avec un pulvérisateur parfaitement réglé (vérifier la qualité de la pulvérisation)

- **Utiliser un pulvérisateur « contrôlé » et parfaitement réglé :**
 - Afin de limiter les effets sur l'environnement, traiter de façon homogène toute la parcelle : démarrage de traitement, courts tours, raccordement de rampe.

- Traiter en bonne conditions météorologiques et quand les plantes sont "réceptives" : bonne hygrométrie, absence de vent, température modérée, temps poussant.
- Respecter les zones de non-traitements (ZNT) réglementées pour les produits (note nationale MILDIOU pommes de terre, 2009).
 - **Intervenir lorsque le seuil de nuisibilité est atteint (Just avant chaque contamination grave):**
 - Consulter le Bulletin de Santé du Végétal et tenir compte du tableau des risques mildiou.
 - Utiliser un système d'aide à la décision (Miléos®) (Abgrall, 2015).
 - **Tenir compte de la sensibilité variétale :**
 - Implanter, si possible, des variétés peu sensibles au mildiou.
 - La sensibilité sur feuillage n'est pas corrélée à la sensibilité sur tubercules, pour les variétés très tolérantes sur tubercules quelques traces de mildiou en fin de saison sur feuillage auront peu d'incidence sur la qualité de la récolte.
 - Les variétés sont caractérisées au regard de leur résistance, toutefois cette tolérance évolue dans le temps.

3.3 Le buttage :

- La construction d'une butte profonde peut aider à empêcher les spores d'être lessivés dans le sol et d'infecter les tubercules en développement (Al Mughrabi, 2011).

3.4 Choisir le fongicide le mieux adapter à chaque situation :

- Il convient de choisir les spécialités fongicides en fonction de leur mode d'action, de la pression de la maladie, des conditions de lessivage et de l'évolution de la culture.
- Le traitement post-cultural au moyen de fongicide contenant de l'acide phosphorique protégera les tubercules sains de la pourriture rose ou des infections au mildiou survenant dans les récoltes. S'assurer d'épandre le fongicide également. Respecter la dose d'application prescrite sur l'étiquette ainsi que les recommandations (Al Mughrabi, 2011).

3.5 Les mesures à prendre avant et après la récolte :

- La suppression des mauvaises herbes de la famille des solanacées propices au développement du mildiou.
- Surveiller sa récolte et examiner avec soin les tiges et les feuilles pour déceler tout symptôme de mildiou. Les infections aux tiges diminueront par temps sec mais réapparaîtront par temps humide.
- Le roulage ou l'utilisation du rotobatteur dans une récolte avant le défanage exposerait le sol et le bas du feuillage à la sécheresse.

- Procéder au défanage au moins deux semaines avant la récolte afin de permettre aux tubercules infectés de moisir et de favoriser la maturité du tubercule (Al Mughrabi, 2011).

Conclusion

CONCLUSION

Le présent travail porte sur la lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre en. Il s'articule autour de trois principaux volets :

Le mildiou de la pomme de terre et ses dégâts.

La lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre.

L'activité antagoniste de *Trichoderma* spp et *Pseudomonas* spp.

Au terme de cette étude, nous avons retenu que le mildiou est la maladie la plus grave en culture biologique de pomme de terre et la plus redoutable causée par le champignon *Phytophthora infestans*, la plupart des souches agressives de cet agent pathogène sont résistantes aux fongicides systémiques courants, la large apparition de nouveaux génotypes de *P. infestans* a contribué à l'élargissement de la gamme d'hôtes de ce pathogène, mais il peut tout de même être isolé et cultivé en milieu de culture artificiel, et pour lutter contre ce mildiou. Plusieurs actions peuvent être mises en œuvre et différentes méthodes peuvent être appliquées comme la lutte chimique, génétique et biologique, cette dernière est la mieux adaptée à cause de sa diversité de la nature environnante et la disponibilité de leurs agents antagonistes présents dans la rhizosphère.

Le champignon *Trichoderma* est considéré comme un facteur essentiel dans la lutte biologique puisque la plupart de ces espèces intervient dans la lutte des microorganismes nocifs, elle agit comme un parasite sur d'autres champignons comme *Phytophthora infestans*.

Ainsi, Le choix de la lutte biologique par l'utilisation des extraits de plantes, de leurs huiles essentielles ou bien de leurs principes actifs est une solution prometteuse permettant d'éviter les effets secondaires causés par les produits chimiques. Plusieurs travaux ont montré que beaucoup d'extraits possèdent des activités biologiques diverses, y compris antibactériennes, antifongiques, antivirales, insecticides et anti oxydantes.

L'arrosage des plantes par une solution de *Pseudomonas* diminue l'infection à 50%, celle-ci résulte de la stimulation de la croissance des plantes et de leur protection contre des microorganismes pathogènes.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed). Elsevier Academic Press.
- Al-Mughrabi, K. (2011). *Le mildiou de la pomme de terre* (p. 5). Conseil canadien de l'horticulture. https://hortcouncil.ca/wpcontent/uploads/2017/05/Late_Blight_of_Potato_CHC_F.pdf
- Andersson, B. (2007). *Sexual reproduction in Phytophthora infestans – epidemiological consequences: Vol. 2007:77* [Thèse de doctorat, Swedish University of Agricultural Sciences].
- Andrivon, D. (1994). Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of *Phytophthora infestans* in three different soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(8), 945-952.
- Andrivon, D. (1995). Biology, ecology, and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology*, 85(10), 1053-1056.
- Andrivon, D. (1996). The origin of *Phytophthora infestans* populations present in Europe in the 1840s: a critical review of historical and scientific evidence. *Plant Pathology*, 45(6), 1027-1035.
- Andrivon, D., & Savini, I. (2019). *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques ?* (1^{re} éd.). éditions Quae.
- Arora, R. K., & Khurana, S. M. P. (2004). Major Fungal and Bacterial Diseases of Potato and their Management. In K. G. Mukerji (Éd.), *Fruit and Vegetable Diseases* (p. 189-231). Springer Netherlands.
- Avila-Adame, C., Gomez-Alpizar, L., Zismann, V., Jones, K. M., Buell, C. R., & Ristaino, J. B. (2006). Mitochondrial genome sequences and molecular evolution of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Current genetics*, 49(1),

B

- Bamouh H., (1999) - Technique de production de la pomme de terre, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTA, N° 58 , PP 1-15
- Bano, N., & Musarrat, J. (2003). Characterization of a new *Pseudomonas aeruginosa* strain NJ-15 as a potential biocontrol agent. *Current microbiology*, 46(5), 0324-0328.
- Bekepe, K., Sommartya, T., Rakvidhyasastra, V., Singburadom, N., Sukprasert, P., & Berga, L. (2006). Crude Garlic Extract Effect on the Growth of Mycelia, Germination of Zoospores and Sporangia and Time of Application on the Infection of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary of Potato under Controlled Conditions in Ethiopia. *Agriculture and Natural Resources*, 40(3), 729-737.

Références bibliographiques

- Bengeugga, S., & Boukhezza, M. (2019). *Effet de rhizoctone brun et les glucoalcaloïdes sur la valeur nutritionnelle et la teneur des molécules bio-actives de la pomme de terre « Solanum tuberosum L », dans la région du souf.*
- Benhamou, N., & Chet, I. (1997). Cellular and Molecular Mechanisms Involved in the Interaction between *Trichoderma harzianum* and *Pythium ultimum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(5), 2095-2099.
- BENINAL, L. (2011). *Diversité génétique de Phytophthora infestans agent du mildiou de la pomme de terre en Algérie* (Doctoral dissertation).
- Benítez, T., Rincón, A. M., Limón, M. C., & Codon, A. C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International microbiology*, 7(4), 249-260.
- Bernhards U., 1998. La pomme de terre *Solanum tuberosum L.* Monographie .Institut National Agronomique Paris – Grignon.
- Blackwell,E. (1949). Terminology in *Phytophthora*. Mycological Paper 30. C.M.I. Kent, Surrey, England, 24 pp.
- Blaeser, P.,& Steiner, U. (1999). Antifungal activity of plant pathology extracts against potato late blight (*Phytophthora infestans*). In *Modern Fungicides and Antifungal Compounds II*. 12th International Reinhardt brunn Suyposium, Freidrichroda, Thuringia, Germany, 24th-29th May 1998. *Review of Plant Pathology*, 78 ,936.
- Blancard, D. (2012). *Tomato Diseases : Identification, Biology and Control: A Colour Handbook, Second Edition*. CRC Press.
- Boccas, B. (1979). *La reproduction sexuelle chez les Phytophthora : ses voies et quelques unes de ses conséquences génétiques*. Paris : O.R.S.T.O.M.
- Bouchet, P., Guignard, J.-L., Pouchus, Y.-F., & Villard, J. (2000). *Les champignons : Mycologie fondamentale et appliquée. Abrégés de Biochimie végétale* (2^e éd.). Elsevier Masson.
- BOUFARES, K. (2012). *Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et Chubaek) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique* [PhD Thesis]. Université Aboubekr Belkaid.
- Bourget, D. (1998). *Le grand livre des variétés de pommes de terre*. Ad hoc.
- Buchanan, R. E. (1917). Studies on the Nomenclature and Classification of the Bacteria. *Journal of Bacteriology*, 2(4), 347-350.

C

- Cattelan, A. J., Hartel, P. G., & Fuhrmann, J. J. (1999). Screening for plant growth–promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. *Soil Science Society of America Journal*, 63(6), 1670-1680.

Références bibliographiques

- Cavalier-Smith, T. (1986). The kingdom Chromista: Origin and systematics. *Progress in Phycological Research*, 4, 309-347.
- Chaigneau, A. (2014). *Étude sur le paramétrage de l'outil d'aide à la décision Mileos® contre le mildiou de la pomme de terre : analyses de sensibilité et ajustement*. ARVALIS Institut du Végétal, Station expérimentale, 91720 Boigneville, Retrieved from <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01130387>
- Chebbah, A. (2016). Contribution à l'étude de la production de quelques variétés de pomme de terre dans la région de Telemcen. Mémoire pour l'obtention de diplôme de master. Université de Telemcen.
- Chin-A-Woeng, T. F., Bloemberg, G. V., van der Bij, A. J., van der Drift, K. M., Schripsema, J., Kroon, B., ... & de Bruijn, F. J. (1998). Biocontrol by phenazine-1-carboxamide-producing *Pseudomonas chlororaphis* PCL1391 of tomato root rot caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 11(11), 1069-1077.
- Chin-A-Woeng, T. F., de Priester, W., van der Bij, A. J., & Lugtenberg, B. J. (1997). Description of the colonization of a gnotobiotic tomato rhizosphere by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strain WCS365, using scanning electron microscopy. *Molecular plant-microbe interactions*, 10(1), 79-86.
- Cohen, Y., Farkash, S., Reshit, Z., & Baider, A. (1997). Oospore production of *Phytophthora infestans* in potato and tomato leaves. *Phytopathology*, 87(2), 191-196.
- Corbaz R. (1990). Principe de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. Presse polytechniques et universitaires romandes d'actinomycètes antagonistes aux champignons phytopathogènes. Canada, pp56.
- Costa, T. R., Fernandes, O. F., Santos, S. C., Oliveira, C. M., Liao, L. M., Ferri, P. H., ... & Maria do Rosário, R. S. (2000). Antifungal activity of volatile constituents of *Eugenia dysenterica* leaf oil. *Journal of ethnopharmacology*, 72(1-2), 111-117.
- Crosier, W. F. (1934). *Studies in the biology of Phytophthora infestans (Mont.) de Bary*. Cornell University.

D

- Darpoux R., Debelley M., 1967. Les plantes sarclées. Edition. J.B. Baillière et fils France. Collection d'Enseignement Agricole. 307p.
- Davet, P. (1983). Introduction et conservation des *Trichoderma* dans le sol. In *Les Antagonisme Microbiens*, 24^{ème} Colloque de la société Française de Phytopathologie, Bordeaux, 26 mai 1983, Ed. INRA.
- Davet, P. (1996). *Vie microbienne du sol et production végétale*. Editions Quae.

Références bibliographiques

- Drenth, A., Janssen, E. M., & Govers, F. (1995). Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant pathology*, 44(1), 86-94.

E

- Erwin, D. C., & Ribeiro, O. K. (1996). *Phytophthora diseases worldwide*. American Phytopathological Society (APS Press).

F

- Fry, W. E., Goodwin, S. B., Dyer, A. T., Matuszak, J. M., Drenth, A., Tooley, P. W., Sujkowski, L. S., Koh, Y. J., Cohen, B. A., Spielman, L. J., Deahl, K. L., Inglis, D. A. and Sandlan, K. P. (1993). Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: Chronology, pathways and implications. *Plant Disease*, 77, 653-661.
- Fry, W. E., Goodwin, S. B., Matuszak, J. M., Spielman, L. J., Milgroom, M. G., & Drenth, A. (1992). Population genetics and intercontinental migrations of *Phytophthora infestans*. *Annual review of phytopathology*, 30(1), 107-130.

G

- Gallegly, & Hong, C. (2008). *Phytophthora : Identifying species by morphology and DNA fingerprints*. American Phytopathological Society (APS Press).
- García de Salamone, I. E., Hynes, R. K., & Nelson, L. M. (2001). Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Canadian Journal of microbiology*, 47(5), 404-411.
- Grünwald, N. J., & Flier, W. G. (2005). The Biology of *Phytophthora infestans* at Its Center of Origin. *Annual Review of Phytopathology*, 43(1), 171-190.

H

- Hammond-Kosack, K. E., & Parker, J. E. (2003). Deciphering plant–pathogen communication: fresh perspectives for molecular resistance breeding. *Current opinion in biotechnology*, 14(2), 177-193.
- Harman, G. E., & Kubicek, C. P. (1998). *Trichoderma And Gliocladium, Volume 2: Enzymes, Biological Control and commercial applications*. London: Taylor and Francis.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species —opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature reviews microbiology*, 2(1), 43-56.

Références bibliographiques

- Harmel, N., Francis, F., Haubruge, E., & Giordanengo, P. (2008). Physiologie des interactions entre pomme de terre et pucerons : Vers une nouvelle stratégie de lutte basée sur les systèmes de défense de la plante. *Cahiers Agricultures*, 17(4), 395-400 (1).
- Harris, P. M. (2013). *The Potato Crop : The scientific basis for improvement*. Springer.
- Harrison, J. G. (1992). Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage—a review. *Plant pathology*, 41(4), 384-416.
- Hawksworth, D. L., Kirk, P. M., Sutton, B. C., & Pegler, D. N. (1995). Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 8th edit. *Wallingford: CAB International*.
- Henfling, J. W. (1987). Late blight of potato : *Phytophthora infestans*. *Technical Information Bulletin 4* (second edition revised), CIP, Lima Peru: 22p.
- Hjeljord, L., & Tronsmo, A. (1998). Trichoderma and Gliocladium in *biological control: an overview*. In G. E. Harman & C. P. Kubicek (Eds.). *Trichoderma and Gliocladium enzymes biological control and commercial applications (Vol. 2, pp. 131-151)*. London: Taylor and Francis.
- Hohl, H. R. (1983). Nutrition of Phytophthora. In D. C. Erwin, S. Bartnicki-Garcia & P. H. Tsao (Eds), *Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. American Phytopathology Society, St Paul, Minnesota, USA, pp. 41-54
- Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by Trichoderma species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant disease*, 87(1), 4-10.
- Howell, C. R., & Stipanovic, R. D. (1980). Suppression of Pythium ultimum-induced damping-off of cotton seedlings by Pseudomonas fluorescens and its antibiotic, pyoluteorin. *Phytopathology*, 70(8), 712-715.
- Huamán, Z. (1986). Systematic botany and morphology of the potato. Technical information bulletin 6. *International Potato Center. Lima-Peru*.

I

- *Influence de la Densité de Tiges Sur la Production de la Pomme de Terre*. (s. d.). International Potato Center.
- International Potato Center. (2007). *Mildiou de la pomme de terre : Guide de l'Agriculteur*. 4.
- Isaac, S. (1992). Fungal plant confrontations. *Fungal-plant interactions*. *Chapman and Hall, London*.

J

- Jijakly M.H. (2003). La lutte biologique en phytopathologie, In : *Phytopathology*. Lepoivre P. (Eds). De Boeck, Bruxelles

Références bibliographiques

K

- Kechid, M. (2005). Physiologie et Biotechnologie de la Micro tubérisation de la Pomme de Terre *Solanum tuberosum*. L. *Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Biotechnologie Végétale. Université Mentouri de Constantine. 154p.*
- Kerroum, F. (2019). *Identification et Caractérisation du Phytophthora infestans agent pathogène du mildiou de la pomme de terre et essai de lutte biologique* (Doctoral dissertation).
- Klein, D., & Eveleigh, D. E. (1998). Ecology of Trichoderma. Chapter 3 in: Kubicek, CP & Harman, GE (eds.). *Trichoderma & Gliocladium Volume 1. Basic biology, taxonomy and genetics.*
- Kloepper, J. W., Leong, J., Teintze, M., & Schroth, M. N. (1980). Pseudomonas siderophores: a mechanism explaining disease-suppressive soils. *Current microbiology*, 4(5), 317-320.
- Krause, R. A., Massie, L. B., & Hyre, R. A. (1975). Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter*, 59(2), 95-98.
- Krebs, H., Dorn, B., & Forrer, H. R. (2006). Lutte contre le mildiou de la pomme de terre avec des préparations à base de plantes. *Revue suisse d'agriculture*, 38(4), 203-207.
- Kroon, L. P. N. M., Bakker, F. T., Van Den Bosch, G. B. M., Bonants, P. J. M., & Flier, W. G. (2004). Phylogenetic analysis of Phytophthora species based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Fungal Genetics and Biology*, 41(8), 766-782.
- Kullnig-Gradinger, C. M., Szakacs, G., & Kubicek, C. P. (2002). Phylogeny and evolution of the genus Trichoderma: a multigene approach. *Mycological Research*, 106(7), 757-767.

L

- Lacey, J. (1965). The infectivity of soils containing Phytophthora infestans. *Annals of Applied Biology*, 56(3), 363-380.
- Lacroix, M. (1999). LA TOMATE DE SERRE, UNE PLANTE HÔTE POUR LE MILDIOU (PHYTOPHTHORA INFESTANS). *Laboratoire de diagnostic en phytoprotection*, 11.
- Lahouel, Z. (2015). *ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA FILIERE POMME DE TERRE DANS LA REGION DE TLEMCEEN, Cas de deux fermes pilotes: Hamadouche et Belaidouni* [Mémoire Master, UNIVERSITÉ ABOUBEKR BELKAÏD –TLEMCEEN].
- Laing, C. 1998. Le mildiou de la pomme de terre. Bulletin d'information de la division de la gestion des demandes d'homologation et de l'information. *Agence Réglementaire de la parasitaire. Canada.*

Références bibliographiques

- Lambert, L. (2005) Biofongicide Rootshield une protection biologique efficace contre les maladies racinaires ,centre de services de saint – Rémi . MAPAQ.
- Lamy Krafft, P., & Roquebert, M. F. (1981). Analyse des interactions entre deux champignons antagonistes: *Trichoderma viride* Pers. et *Botrytis cinerea* Pers. Ex Fr. Études préliminaires. *Cryptogamie; mycologie*, 2, 137-151.
- LEGEMBLE, J. (2008). Les syrphes. *Fiche Tech. Service Régional de la Protection des Végétaux de Haute-Normandie, France*.
- Lemanceau, P. (1992). Effets bénéfiques de rhizobactéries sur les plantes: Exemple des *Pseudomonas* spp fluorescents. *Agronomie*, 12(6), 413-437.
- Leong, J. (1986). Siderophores: their biochemistry and possible role in the biocontrol of plant pathogens. *Annual review of Phytopathology*, 24(1), 187-209.
- Lieckfeldt, E. (2000). An evaluation of the use of ITS sequences in the taxonomy of the Hypocreales. *Stud Mycol*, 45, 35-44.
- Lieckfeldt, E., Samuels, G. J., Nirenberg, H. I., & Petrini, O. (1999). A morphological and molecular perspective of *Trichoderma viride*: is it one or two species?. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(6), 2418-2428.
- Lisinska, G., & Leszczynski, W. (1989). *Potato Science and Technology*. Springer Science & Business Media.

M

- Malajszczuk N., 1983. Microbial antagonism to *Phytophthora* spp. 197 - 217 in *its biology, taxonomy, ecology and pathology*. D.C. Erwin, S. Bartnicki- Garcia and P.H. Tsao (eds). American Phytopathological Society, St Paul, 392 pp.
- Medina, M. V., & Platt, H. W. (1999). Viability of oospores of *Phytophthora infestans* under field conditions in northeastern North America. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 21(2), 137-143.
- Mohamed-Benkada, M. (2006). *EVALUATION DU RISQUE FONGIQUE EN ZONES CONCHYLICOLES: SUBSTANCES TOXIQUES DE SOUCHES MARINES DU GENRE Trichoderma*. [Thèse de doctorat]. Université de Nantes. Faculté des sciences Pharmaceutiques.
- Montarry, J. (2007). *Réponse adaptative des populations de Phytophthora infestans, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte Solanum tuberosum* [Thèse de doctorat]. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Mukherjee, P. K., & Kenerley, C. M. (2010). Regulation of morphogenesis and biocontrol properties in *Trichoderma virens* by a VELVET protein, Vell1. *Applied and environmental microbiology*, 76(7), 2345-2352.

Références bibliographiques

- Mukherjee, P. K., Horwitz, B. A., Singh, U. S., Mukherjee, M., & Schmoll, M. (2013). *Trichoderma : Biology and Applications*. CABI.
- Mulder, A., & Turkensteen, L. J. (2005). Potato diseases. *Diseases, pests and defects*. NIVAP, Holland, 280.

N

- Narayanasamy, P. (2008). *Molecular Biology in Plant Pathogenesis and Disease Management : Microbial Plant Pathogens, Volume 1*. Springer Science & Business Media.
- Negi, P. S., Chauhan, A. S., Sadia, G. A., Rohinishree, Y. S., & Ramteke, R. S. (2005). Antioxidant and antibacterial activities of various seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed extracts. *Food Chemistry*, 92(1), 119-124.
- Neuhoff, D., Klinkenberg, H.J., Köpke, U.(2002). New approaches in late blight (*Phytophthora infestans*) control in organic farming. In 2e^{me} Conference internationale sur les moyens alternatifs de lutte contre les organismes nuisibles aux végétaux, Lille, 4-7 Mars 2002, Proceedings, pp. 197-204. PP-201.
- Ngamo, L. S. T., & Hance, T. H. (2007). Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 25(4), 215-220.

P

- Paulin, J. P., Ridé, M., & Prunier, J. P. (2001). Découverte des bactéries phytopathogènes il y a cent ans: controverses et polémiques transatlantiques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, 324(10), 905-914.
- Peix, A., Ramírez-Bahena, M. H., & Velázquez, E. (2009). Historical evolution and current status of the taxonomy of genus *Pseudomonas*. *Infection, Genetics and Evolution*, 9(6), 1132-1147.
- Polese, J. M. (2006). *La culture des pommes de terre*. Editions Artemis.
- *Principales Maladies, Insectes et Nématodes de la Pomme de Terre*. (s. d.). International Potato Center.

R

- Rakotonindraina, T. F. (2012). *Analyse et modélisation des effets des pratiques culturales sur les épidémies de mildiou de la pomme de terre. Adaptation du modèle SIPPOM (Simulator for Integrated Pathogen POPulation Management) au pathosystème* [Thèse de doctorat]. Université de Toulouse.

Références bibliographiques

- Rashid, A., Ahmad, I., Iram, S., Mirza, J. I., & Rauf, C. A. (2004). Efficiency of different neem (*Azadirachta indica* A. Juss) products against various life stages of *Phytophthora infestans* (Mont.) Debary. *Pak. J. Bot.*, 36(4), 881-886.
- Rousselle, P., Robert, Y., & Crosnier, J.-C. (1996). *La pomme de terre : Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations*. Editions Quae.

S

- Sakthivel, N., & Gnanamanickam, S. S. (1987). Evaluation of *Pseudomonas fluorescens* for suppression of sheath rot disease and for enhancement of grain yields in rice (*Oryza sativa* L.). *Applied and environmental microbiology*, 53(9), 2056-2059.
- Scher, F. M., & Baker, R. (1980). Mechanism of biological control in a *Fusarium*-suppressive soil. *Phytopathology*, 70(5), 412-417.
- Schroth, M. N., & Kloepper, J. W. (1978). Plant growth promoting rhizobacteria on radish. In *Proceedings of the fourth conference plant pathogenic bacteria. Ed Station de Pathogenic Vegetable ET (Phytobacteriologic) INRA Angers* (pp. 876-882).
- Schroth, M.N., Hildebrand, D.C. and Panopoulos, N. (1992). Phytopathogenic pseudomonads and related plant-associated pseudomonads. In: *The Prokaryotes*, pp. 3104-3131. Balows, A., Truper, H.G., Dworkin, M., Harder, W. and Schleifer K-H. (eds). Springer-Verlag, New York, USA
- Schuster, A., & Schmoll, M. (2010). Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied microbiology and biotechnology*, 87(3), 787-799.
- Sedláková, V., Dejmalová, J., Hausvater, E., Sedlák, P., Doležal, P., & Mazáková, J. (2011). Effect of *Phytophthora infestans* on potato yield in dependence on variety characteristics and fungicide control. *Plant, Soil and Environment*, 57(10), 486-491.
- Sharma, P., & Pandey, R. (2009). Biological control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* in the medicinal plant, *Withania somnifera* and the effect of biocontrol agents on plant growth. *African Journal of Agricultural Research*, 4(6), 564-567
- Sivasithamparam, K., & Ghisalberti, E. L. (1998). Secondary metabolism in *Trichoderma* and *Gliocladium*. In: Harman, G. E., & Kubicek, C. P. (eds) *Trichoderma and Gliocladium*, Vol.1. Basic Biology, Taxonomy and Genetics. Taylor & Francis, London, pp. 139-191.
- Soltner, D. (1979). *Les grandes productions végétales: Céréales, plantes sarclées, prairies : phytotechnie spéciale* (10ème éd). Angers: Verlag nicht ermittelbar.
- Soltner, D. (2005). *Les grandes productions végétales: Phytotechnie spéciale : céréales, plantes sarclées, prairies* (20ème éd). Sainte-Gemmes-sur-Loire: Éd. Sciences et techniques agricoles.

Références bibliographiques

- SRAL, ARVALIS - Institut du végétal, 2009 - Stratégie de lutte contre le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*). Note commune.
- Suffert, F., Latxague, É., & Sache, I. (2009). Plant pathogens as agroterrorist weapons : Assessment of the threat for European agriculture and forestry. *Food Security*, 1(2), 221-232.
- Suslow, T. V., & Schroth, M. N. (1982). Rhizobacteria of Sugar Beets : Effects of Seed Application and Root Colonization on Yield. *Phytopathology*, 72 , 199-206.

T

- Talbot, N. J. (2004). *Plant-pathogen Interactions* (Vol. 11). CRC Press.
- Thurston, H.D., & Schulz, O. (1981). Late blight. In: Hooker, W.J. (ed.), *Compendium of potato diseases*, APS, St Paul, Minnesota, 40-42.
- TOURNUS, C. (2016). *validation de l'identification des Pseudomonas sp. Par spectrométrie de masse type MALDI-TOF via la caractérisation d'une collection de souches environnementales et cliniques* [Thèse de doctorat]. UNIVERSITE DE ROUEN:UFR DE MEDECINE ET DE PHARMACIE.

V

- Valueva, T. A., & Mosolov, V. V. (2004). Role of inhibitors of proteolytic enzymes in plant defense against phytopathogenic microorganisms. *Biochemistry (Moscow)*, 69(11), 1305-1309.
- Varma, J., & Dubey, N. K. (1999). Prospectives of botanical and microbial products as pesticides of tomorrow. *Current science*, 76(2), 172-179.

W

- Weller, D. M., & Cook, R. J. (1983). Suppression of take-all of wheat by seed treatments with fluorescent pseudomonads. *Phytopathology*, 73(3), 463-469.
- Winslow, C. E., Broadhurst, J., Buchanan, R. E., Krumwiede, C., Rogers, L. A., & Smith, G. H. (1917). The Families and Genera of the Bacteria : Preliminary Report of the Committee of the Society of American Bacteriologists on Characterization and Classification of Bacterial Types. *Journal of Bacteriology*, 2(5), 505-566.

Z

- Zentmyer, G.A. (1983). *The world of Phytophthora*. In D.C . Erwin, S. Bartnicki-Garcia, & P. H. Tsao (Eds.), *Phytophthora , its Biology ,Taxonomy, Ecology and Pathology* (pp. 1-8). St. Paul, MN : APS.

Sites d'internet

- CDC. (1979). *English : A gram stain of Pseudomonas aeruginosa*.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pseudomonas_aeruginosa_gram.jpg
- Genre Pseudomonas—Actualités Médicales Quotidienne—Actualité Santé. (s. d.). *Medical Actu - Actualités Médicales Quotidienne - Actualité Santé*. Consulté 10 juillet 2020, à l'adresse <https://www.medical-actu.com/cours/bacteriologie/genre-pseudomonas/>
- Giraud, R. (2018, août 10). Trichoderma : Une solution de biocontrôle. *Clinique du Gazon*.
<http://cliniquedugazon.fr/index.php/2018/08/10/trichoderma-une-solution-de-biocontrole/>
- <https://www.linfodurable.fr/>
- INFINITO - Fongicide pour pomme de terre et légume. (s. d.). Ternoclic. Consulté 9 octobre 2020, à l'adresse <https://ternoclic.com/produit/infito/>
- *La pomme de terre—Année internationale de la pomme de terre 2008*. (s. d.). Consulté 11 juillet 2020, à l'adresse <http://www.fao.org/potato-2008/fr/pommedeterre/index.html>
- *Mildiou de la pomme de terre*. (2020, mai 28). Syngenta France.
<https://www.syngenta.fr/traitements/mildiou-de-la-pomme-de-terre>
- Modèle MILEOS: Mildiou de la pomme de terre. (2015). *ECOPHYTO Réduire et améliorer l'utilisation des phytos*.
<https://blog-ecophytohautsdefrance.fr/wp-content/uploads/2015/12/Mod%c3%a8le-Mileos-mildiou-de-la-pomme-de-terre-.pdf>
- *Petite histoire de la Pomme de terre*. (s. d.). Consulté 3 juillet 2020, à l'adresse <https://www.lanutrition.fr/bien-dans-son-assiette/aliments/pommes-de-terre/petite-histoire-de-la-pomme-de-terre>
- *Pomme de terre : Lutter efficacement contre le mildiou*. (s. d.). Consulté 9 juin 2020, à l'adresse <https://www.arvalis-infos.fr/mildiou-combiner-prophylaxie-resistance-varietale-et-outils-d-aide-a-la-decision--@/view-21491-arvarticle.html>
- *Stratégie de lutte contre le mildiou de la pomme de terre*. (s. d.). Consulté 10 juillet 2020, à l'adresse <http://www.oise-agricole.fr/actualites/pour-controler-le-mildiou-de-la-pomme-de-terre-il-convient-d-eviter-l-entree-de-cette-maladie-dans-strategie-de-lutte-contre-le-mildiou-de-la-pomme-de-terre:T77C21GY.html>
- Zell, H. (2009). *English : Solanum tuberosum, Solanaceae, Potato, fruit. Stutensee, Germany*. Own work. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solanum_tuberosum_004.JPG

Memoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Microbiologie

Spécialité : Mycologie et biotechnologie fongique

La lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre

Résumé :

Le mildiou de la pomme de terre est une maladie mondiale répandue dans toutes les zones de culture de la pomme de terre. ses épidémies sont causées par la récurrence et la juxtaposition du cycle infectieux. l'agent responsable de cette maladie est le *Phytophthora infestans*, résistant aux fongicides systématiques, il est connu sous le nom de destructeur des plantes, car il s'attaque à tous les organes de la plante (feuilles, pétioles, tiges, jeunes pousses, bouquets terminaux et tubercules), il provoque des épidémies aériennes qui peuvent détruire les cultures en deux semaines si les conditions climatiques sont favorables. Dans le cadre de la recherche des différentes méthodes alternatives contre cette maladie, cette étude est portée sur la lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre, en se basant sur l'activité antagoniste de quelques isolats du genre *Trichoderma*, sachant qu'il a une efficacité dans l'inhibition des organismes pathogènes. Par ailleurs, les analyses moléculaires de quelques souches de *Trichoderma*, ont affirmé un potentiel antagoniste très intéressant et peuvent être préconisés comme agents de lutte biologique contre le mildiou de la pomme de terre, selon différents modes d'application.

Mot clés : Mildiou de la pomme de terre, *Phytophthora infestans*, Lutte biologique, L'activité antagoniste, *Trichoderma*.

Membre du jury :

Présidente : Dr. BENKAHOUL Malika (MCB - UFM Constantine).

Examinatrice : Dr. MERGOUD Lilia (MAA - UFM Constantine).

Rapporteur : Dr. ALMI Hiba (MCB - UFM Constantine).

Préparé par :

Sebti racha

Boudefa Nour El Houda

Année universitaire : 2019-2020

