



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 الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Microbiologie.

قسم : الميكروبيولوجيا

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie moléculaire des microorganismes

Intitulé :

Rhizoctonia solani un phytopathogène pour la pomme de terre.
Synthèse bibliographique sur des moyens de luttés biologiques

Préparé par : TLILANI IMANE

Le : 10 /10/2020

ZELLAGUI CHAIMA

Jury d'évaluation :

Président du jury : Benhizia Yacine (professeur - UFM Constantine).

Rapporteur : Boudemagh Allaoueddine (professeur - UFM Constantine).

Examineur : Kitouni Mahmoud (professeur - UFM Constantine).

**Année universitaire
2019- 2020**

Remerciements

Nous remercions Allah, De nous avoir illuminé et ouvert les portes du savoir, de nous avoir donné la santé, la volonté, le courage, et les moyens, afin de pouvoir accomplir ce modeste travail. C'est grâce à lui que nous avons atteint ce niveau.

Tout d'abord, nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements et toute nos reconnaissances l'égard de :

Notre promoteur:

M. le Pr Boudemegh

Pour son aide précieuse, son soutien moral et ses conseils. Nous avons été récompensés lors de ce travail de recherche.

Nous remercions également les membres du jury M. le Pr Benhizia Yacine pour avoir Accepté de présider le jury et M. le Pr Kitouni Mahmoud pour avoir bien voulu nous faire honneur d'examiner ce mémoire.

Nous remercions aussi M. Zellagui Amar, professeur à l'université Larbi Ben M'Hidi de Oum El Bouaghi, pour le temps qu'il a consacré à nous fournir l'échantillon indispensable à la conduite de cette recherche.

Un grand merci également à Boutellaa Saber pour sa gentillesse, ses encouragements et ses précieux conseils.

Nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et à toutes les personnes du département de Microbiologie qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions en répondant à nos questions durant nos recherches.

Nous remercions aussi nos collègues étudiants du département pour leur soutien en particulier les amis les plus proches de notre promotion, ainsi à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Enfin, on remercie vivement chacune de nos deux familles respectives pour leur soutien et leur perpétuel encouragement.



*Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU** De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*A la mémoire de mon Père **Tlilani Mohamed***

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation, puisse Dieu l'avoir en sa sainte miséricorde.

*A ma très chère mère **Zidani Houria***

Honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites.

Pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Que Dieu le Tout-Puissant te préserve et t'apporte santé, longue vie et bonheur.

*À mon cher frère **Drif**, son épouse **Chahinaz** et ses petits poussins **Asinat Arwa Milena***

Mon cher frère, tu es pour moi le père et la mère, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour toi. Mon ange gardien et mon fidèle compagnon dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

*A mes chères sœurs **warda**, **Ibtissem** et leurs enfants (loujaine, Mohamed, ouies).*

Hanane et ses enfants (Baraa. Nadir) pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, que Dieu, le tout puissant, vous protège.

*À mon petit cher frère **Azzedine***

Tu as rempli ma vie de joie et de bonheur. Je te souhaite un avenir plein de Succès et de sérénité.

A MA BELLE famille

Je te remercie tout particulièrement pour ton soutien et ton affection. J'espère que tu trouveras dans ce travail le témoin de mon affection et mon estime.

*A mon binôme **chaïma**, je te remercie pour ton amitié chère à mon cœur, et je te souhaite tout le bonheur du monde.*

A Tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire et universitaire.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ma formation.

Imane



Dédicace

*Au nom du Dieu le clément et le miséricordieux louange à **ALLAH** le tout puissant,*

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et de remerciement aux:

Parents les plus chers au monde, papa et maman que Dieu les garde et les protège :

*A mon très chère **Papa (Ali)**, a celui qui a travaillé nuit jour pour m'assurer les bonnes conditions. Il m'a toujours encouragé dans ma vie et m'a apporté soutient tout au long des années d'étude. Merci pour ton amour et pour m'avoir donné toujours l'espoir de vivre.*

*A ma chérie **Mama(Souad)**, mon amie, ma confidente, ma complice .Tu représentes beaucoup pour moi, même si je ne le dis pas toujours, saches que mon cœur est rempli d'amour pour toi. Merci pour ton soutien, tes encouragements, ta compréhension et pour tous les efforts que tu fais pour moi.*

*A mon frère **Ghoullem** et mes chères sœurs **Assma, Douae**, mon soutien dans la vie.*

*Ma nièce **Ines** et mon ange **Mirale***

*Mon grand- père **Messoud**, que Dieu le protège*

*A mon cher oncle **Amar**, mon deuxième père, merci pour tout le soutien, l'encouragement et les conseils que vous m'avez donnés.*

Mes oncles et tantes ainsi que leurs épouses, époux et enfants.

*Mes chères cousins et cousines, spécialement : **Saoussen, Rawen, Narmine, Ibtissem.***

*A Tous mes meilleurs amis, particulièrement mon binôme **Imane** et mes chers collègues, et tous qui m'ont aidé à accomplir ce modeste travail.*

*A toute ma famille, qui porte le nom **Zellagui.***

CHAIMA

Table des matières

Liste des abréviations	IV
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VI
Introduction	1
Partie I : bibliographique	
<i>Chapitre I : La pomme de terre : Biologie, Agriculture et Economie</i>	
1. Origine et historique de la pomme de terre.	3
2. Caractéristique taxonomique, morphologique et biologique de la pomme De terre.	3
2.1. Taxonomie.	3
2.2. Caractéristique morphologique.	4
2.2.1. L'appareil aérien.	5
2.2.2. L'appareil souterrain.	7
2.2.3. La structure de tubercule.	9
2.3. Composition biochimique du tubercule.	11
3. Mode de reproduction.	11
4. La pomme de terre dans le monde.	12
5. La pomme de terre dans l'Algérie.	15
6. les variétés de la pomme de terre.	18
6.1. Variétés les plus cultivées en Algérie.	18
6.1.1. Principales variétés cultivées dans la région d'EL-oued.	19
6.2. Variétés de la pomme de terre dans le monde.	20

7. L'exigence écologique de la pomme de terre.	21
7.1. Exigence écologique climatique.	21
7.1.1. Température.	21
7.1.2. La lumière.	22
7.1.3. L'humidité.	22
7.2. Exigence édaphique.	22
7.2.1. Structure et texture de sole.	22
7.2.2.2. PH.	22
7.2.3. Salinité.	23
8. La production de la pomme de terre dans les régions saharienne.	23
8.1. La production de la pomme de terre dans la wilaya d'El-Oued.	23
9. la technique de culture de la pomme de terre.	24
10. Les maladies et les ennemies de la pomme de terre.	28

Chapitre II : Le Rhizoctone brune de la pomme de terre

1. Le rhizoctone de la pomme de terre.	38
2. Biologie de <i>Rhizoctonia solani</i> .	38
3. Caractéristique taxonomique et morphologique.	39
3.1. Position systématique.	39
4. Conditions favorables à son développement.	40
5. Les symptômes de rhizoctone brun.	41
5.1. Les symptômes en végétation.	41
5.2. Les symptômes Sur tubercule.	43
6. Le cycle évolutif.	43

7. Epidémiologie de <i>Rhizoctonia solani</i> .	44
8. La protection contre le rhizoctone brun de la pomme de terre.	45
Chapitre III : lutte biologique et microorganismes antagonistes de <i>Rhizoctonia solani</i>	
1. La lutte biologique.	47
1. l'intérêt de la lutte biologique dans le contrôle de la maladie phytopathogène.	47
1.2. Mécanisme d'action d'un agent pathogène.	48
1.2.1. Parasitisme.	48
1.2.2. Compétition.	48
1.2.3. Antibiose.	49
1.2.4. Production des sidérophores.	49
1.2.5. Exemple d'une stratégie de lutte biologique vis-à-vis de <i>Rhizoctonia solani</i> .	49
2. Les microorganismes de lutte biologique les plus utilisés contre <i>Rhizoctonia solani</i>	50
2.1. <i>Trichoderma</i> , <i>Gliocladium spp</i> et <i>Aspergillus spp</i> .	50
2.2. <i>Bacillus subtilis</i> et <i>Pseudomonas fluorescen</i> .	55
2.3. Les Actinobactéries.	56
Conclusion	62
Références bibliographiques	64
Résumé	

an.vasc : anneau vasculaire

B. subtilis : *Bacillus subtilis*

bg t : le bourgeon terminal

CAW : chambre d'agriculture de la wilaya d'EL-oued

CNCC : Centre National de Contrôle et de Certification des Semences

cort : le cortex

DSA : Direction locale des services agricoles

FAOSTAT : Food and Agriculture Organization. Statistiques mondiale de pomme de terre

F.A.O : Food and Agriculture Organization

G.catenulatum : *Gliocladium catenulatum*

GM : la gravité de la maladie

GA : groupe d'anastomose

ha : hectare

KDa : kilo dalton

len : les lenticelles

m : la moelle

Mt : millions de tonnes

NEPG :Groupe des Producteurs de pommes de terre du Nord-ouest européen / North-Western European Potato Growers

oe : les yeux

pc : parenchyme cortical

pér : le périoderme

PGPB : Plant Growth Promoting Bacteria

ph. e : phloème externe

ph.i : phloème interne

pm : parenchyme médullaire (pm)

P. fluorescens : *Pseudomonas fluorescens*

Qx : millions de quintaux

R.solani : *Rhizoctonia solani*

SDS-PAGE : sodium dodecylsulfate - polyacrylamide gel electrophoresis

(électrophorèse en gel de polyacrylamide-SDS)

st: le stolon

S.cavourensis : *Streptomyces cavourensis*

T. harzianum : *Trichoderma harzianum*

UE-05 : les 5 principaux pays du Nord-Ouest de l'Europe

(U/ml) : Unité per millilitre

UNPT : Union Nationale de Production de la Pomme de Terre

V. biguttatum : *Verticillium biguttatum*

x : xylème

z.péri : périmédullaire

µg : microgramme

% : pourcent

°C : degré Celsius



Liste des figures

Figure 01: Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre	5
Figure0 2 : Tige de la pomme de terre	6
Figure 03 : Feuilles de la pomme de terre	6
Figure 04: Fleurs de la pomme de terre	7
Figure 05: Système racinaire de la pomme de terre	8
Figure 06: Différentes formes du tubercule de la pomme de terre	9
Figure 07 : Structure externe du tubercule de la pomme de terre	10
Figure 08: Structure interne du tubercule de la pomme de terre	10
Figure 09: Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre « <i>Solanum tuberosum</i> ».	11
Figure 10 : Production de la Pommes de terre par région	13
Figure 11 : Production/Rendement de la pomme de terre en monde – (1994-2018)	14
Figure 12 : Production de la pomme de terre : 10 principaux pays en monde – (1994-2018)	14
Figure 13 : Productions de la culture pommes de terre durant la période 2007- 2012	17
Figure 14 : Principales variétés cultivées dans la région du Souf.	20
Figure 15 : Exemple de quelques types de pomme de terre.	20
Figure16 : Hyphes de <i>R. solani</i>	40
Figure17 : Mycélium sclérotique	40
Figure 18 : Les germes en germination peuvent être tués par <i>R. solani</i> avant qu'ils ne sortent du sol.	41
Figure19 : Les lésions brunes et enfoncées sur les tiges et les stolons souterrains sont causées	

Par <i>R. solani</i> .	42
Figure20 : Petits tubercules aériens formés en surface des stolons et des tiges souterraines	42
Figure21 : Sclérotés de <i>Rhizoctonia solani</i> à la surface des tubercules	43
Figure 22 : Le cycle de développement du rhizoctone brun sur la pomme de terre	44
Figure 23 : Production de composés antifongiques par <i>Streptomyces cavourensis</i> NEA5 et <i>Streptomyces sp. NEA55</i>	52
Figure 24: Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de <i>Rhizoctonia solani</i> par <i>Gliocladium spp</i> et <i>Aspergillus spp</i> noté après 72 h d'incubation à 25°C.	53
Figure 25: Observation microscopique de l'interaction des hyphes des antagonistes testés avec celles du pathogène	53
Figure 26: Production de composés antifongiques par <i>Streptomyces cavourensis</i> NEA5 et <i>Streptomyces sp NEA55</i> (AetB) et l'inhibition de <i>R. solani</i> en raison des composés diffusibles produits. Déformations morphologiques: (A1 et B1) Les structures normales de <i>R. solani</i>	58
Figure 27: Activité chitinases de <i>Streptomyces sp NEA55</i> à différents pH et températures	59
Figure 28: Activité chitinases de <i>Streptomyces cavourensis NEA5</i> à différents pH et températures	59
Figure 29 : Activité glucanase de <i>Streptomyces cavourensis NEA5</i> à différents pH et températures	60
Figure 30 : Activité glucanase de <i>Streptomyces sp NEA55</i> à différents pH et températures	60
Figure 31: Détection de l'activité de la chitinase après SDS-PAGE	61

Liste des tableaux

Tableau 01: Evolution de la production de pomme de terre en Algérie (1971-2014)	15
Tableau 02: Les principales wilayas productrices de pomme de terre en Algérie	16
Tableau 03 : Liste des variétés de pommes de terre autorisées à la production et à la Commercialisation en Algérie.	18
Tableau 04 : Production de la pomme de terre dans les régions Sahariennes de l'Algérie	23
Tableau 05 : Différents agents pathogènes et ravageurs de la pomme de terre	28
Tableau 06: Pourcentage d'inhibition in vitro des métabolites diffusibles et volatils des espèces de Streptomyces sur la croissance de Rhizoctonia solani.	57

Introduction

Introduction

La pomme de terre est la principale denrée alimentaire non céréalière en Algérie et dans le monde entier. Elle joue un rôle clé dans le système alimentaire mondiale (FAO, 2008). Elle occupe la quatrième culture agricole après le blé, le maïs et le riz au monde (FAO, 2018).

La culture de la pomme de terre est très prometteuse qui offre de nombreux avantages. D'un point de vue agricole, elle est facile à cultiver et a un potentiel de rendement élevé. Sur le plan nutritionnel, elle se classe premier aliment nourrissant à haute teneur énergétique. Dans le monde, la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L) présente une grande importance économique.

En Algérie, la production annuelle totale est de 41 Millions de quintaux pour une superficie de près de 130 000 ha (donnés 2017). Dans sept wilayas Algérienne, la production atteint près de 70% de la production annuelle. El- Oued est l'une des premières zones connues pour la culture de la pomme de terre avec 28% de la production annuelle (Bessaoud et Lefki, 2018).

L'Algérie fait partie des pays qui se distinguent par la culture de la pomme de terre. Cependant, cette culture est affectée par des nombreuses maladies, aussi bien bactériennes, virales, que fongiques et même par des insectes. La Rhizoctone brun est parmi les maladies les plus courantes qui touchent cette culture. Elle est provoquée par un champignon appelé *Rhizoctonia solani* Kühn. C'est le principal agent pathogène de la Rhizoctone brun largement répandue dans le sol qui infecte les tubercules, les tiges et les stolons. Cela provoque le chancre de la tige et la gale noire de la pomme de terre (Demirci *et al.* , 2011). Cette maladie provoque des pertes de rendements considérables. Les sclérotés noirs qui se forment sur la peau des tubercules peuvent également réduire la qualité de la récolte et diminue la valeur nutritionnelle de la pomme de terre. Le rhizoctone brun peut aussi provoquer la malformation et la fissuration des tubercules (Hide *et al.* , 1985).

En Algérie, cette maladie est très peu étudiée. Les données concernant l'agent causal qui touche les variétés de pomme de terre cultivées au Sahara Algérien sont encore mal connues. Ce champignon continue de causer des dégâts importants sur cette culture aussi bien dans l'agriculture saharienne que tellienne.

Dans cette revue bibliographique, nous nous sommes intéressés de cerner les travaux déjà réalisés sur cette maladie et sur ce champignon. Nous étalerons aussi les techniques et

Introduction

les essais de traitement afin de contenir les effets néfastes de ce champignon sur les variétés de pomme de terre. Il est question aussi de mettre en évidence les aspects biologiques de biocontrôle, qui utilise le caractère antibiosé de certains microorganismes, afin de stopper ou d'inhiber cette maladie.

Pour atteindre cet objectif, nous avons trouvé utile de structurer notre travail comme suite :

La première partie vise à présenter les données bibliographiques sur la pomme de terre et les maladies qui l'affectent. Nous avons dans cette partie mis l'accent sur l'agent pathogène responsable de la maladie de la Rhizoctone brun qui touche la pomme de terre saharienne en Algérie. Les conditions favorables de développement de cet agent causal, sont aussi détaillées. La deuxième partie concerne les travaux déjà réalisés sur la lutte biologique contre *R.solani*.

Chapitre 1

La pomme de terre : Biologie, Agronomie et Economie



1. Origine et historique de la pomme de terre

La pomme de terre est une plante imposée comme légume universel dans le monde entier. Elle est originaire de l'Amérique du sud. La première culture de la pomme de terre a commencé il y a 8000 ans en Amérique du sud, dans le sud du Pérou à la frontière de Bolivie, ensuite cette culture a été généralisée dans plusieurs régions des Andes (**polése, 2006**). Selon Rousselle, les espagnols après la découverte du nouveau monde, dans les caraïbes et en Amérique centrale, ils entreprirent leurs expéditions en Amérique du sud, vers 1530 et découvraient la pomme de terre. Depuis l'Espagne, cette plante est diffusée dans les jardins européens, et ce n'est qu'entre 1564 et 1573 que la culture de la pomme de terre a commencé réellement, ensuite il est ramené en France puis en Algérie pendant la période coloniale (**Rousselle et al . ,1996**).

Elle a été introduite en Algérie au XIX^{ème} siècle et devenue le plus en plus importante dans le régime alimentaire. La consommation annuelle de ce tubercule était de **35 kg/habitant** en 1990, elle est passé à **57 kg** en 2005 (**F.A.O. 2008**).

2. Caractéristiques taxonomiques, morphologiques et biologique de la pomme de terre

La pomme de terre, ou patate, est un tubercule comestible produit par l'espèce *Solanum tuberosum*, appartenant à la famille des solanacées. Le terme désigne également la plante elle-même, plante herbacée vivace largement cultivée à travers le monde, le plus souvent en culture annuelle (**Rousselle et al . , 1996**). La pomme de terre est une plante qui réussit dans la plupart des sols, mais elle préfère les sols légers légèrement acides.

2.1. Taxonomie

Selon (**Hawkes, 1990**) la position systématique de **de *Solanum tuberosum*** est comme suit :

Règne	Métaphytes (végétaux supérieurs)
Embranchement	Spermatophytes
Sous-embranchement	Angiospermes

Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Polemoniales
Famille	<i>Solanaceae</i>
Genre	<i>Solanum L</i>
Sous-Genre	<i>Potatoe (G. Don) D'Arcy</i>
Section	<i>PetotaDumort</i>
Sous-section	<i>Potatoae</i>
Super-série	<i>Rotata</i>
Série/Groupe	<i>Tuberosa (cultivées)</i>
Espèce	<i>Solanum tuberosum</i>

2.2. Caractéristique morphologique

La connaissance des caractéristiques des différentes parties de la pomme de terre est importante pour reconnaître éventuellement les effets négatifs et positifs des différents facteurs externes qui agissent sur la croissance du plant. Cette plante est constituée de deux parties (**Fig. 1**).

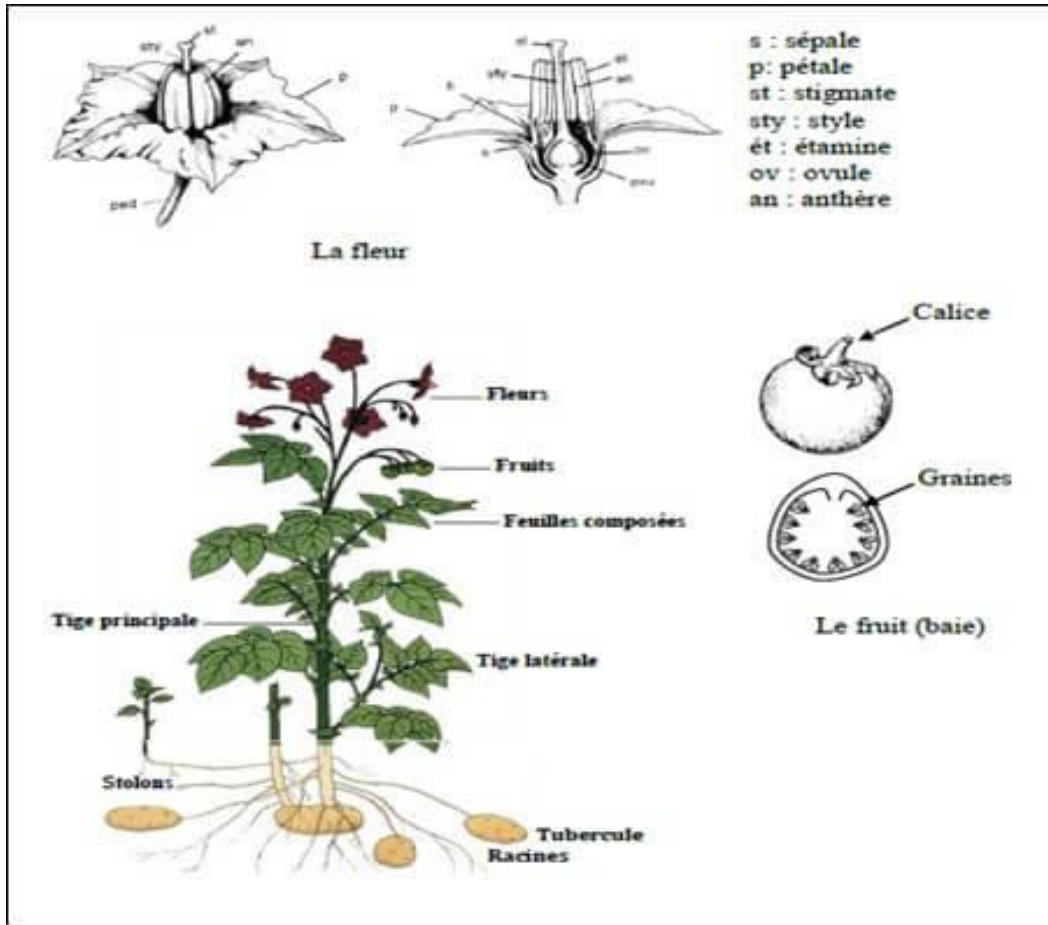


Figure 1 : Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre (FAO ,2008)

2.2.1. L'appareil aérien

Une touffe de pomme de terre comprend un nombre plus ou moins élevé de tiges principales d'abord dressées mais avec l'âge, peuvent rester dressées ou devenir partiellement ou totalement rampantes, donnant à la plante un port plus ou moins étalé (Rousselle *et al.*, 1996). En plus des tiges, cette partie aérienne, contient des feuilles ainsi que des fleurs.

- Les tiges

Dont le nombre peut varier de 2 à 10 et peuvent donner à la plante un port plus étalé. Les paramètres principaux qui caractérisent l'aspect de la tige sont la couleur (vert ou brunâtre) à cause du pigment anthocyanes à la chlorophylle, la forme (cylindrique ou anguleuse) et l'absence ou la présence de cote ou d'ailes peu ou très développées, soit rectilignes ou ondulées (Fig. 2) (Rousselle *et al.*, 1996).



Figure 2 : Tige de la pomme de terre (Ghazi et Ousdidene., 2017)

- Les feuilles

Les feuilles comportent de 7 à 15 grandes folioles latérales primaires flanquées avec des folioles secondaires qui s'insèrent au même niveau que les précédentes. Des folioles intercalaires se localisent entre chaque paire de folioles primaires et des foliolules qui s'insèrent sur la base des folioles primaires (Fig. 3) (Rousselle *et al.*, 1996).

Les folioles présentent de nombreux caractères distinctifs, mais assez fluctuants, notamment concernant leur nombre, la forme, la couleur, la pilosité et la longueur des pétioles et pétiolules. Les jeunes feuilles sont densément recouvertes de poils soit longs et droits, soit courts et de type glandulaire (trichomes) (Djabbour, 2015). Dans toutes les parties vertes de la pomme de terre et principalement les feuilles, il y'a présence de glycoalcaloïde toxique comme la solanine (Fig. 3) (Rousselle *et al.*, 1996).



Figure 3 : Les feuilles de la pomme de terre (Ghazi et Ousdidene, 2017)

- Les fleurs :

La fleur peut être de couleur blanche, bleue ou violette, La floraison de la pomme de terre est terminale et en forme de cyme, donnent des fruits en forme de baie contenant des graines plates. (Rousselle *et al.*, 1996). Les graines de la pomme de terre ne sont utilisées qu'en amélioration génétique afin d'obtenir de nouvelles variétés (Fig. 4) (Anonyme, 1999).



Figure 4 : Fleure de la pomme de terre (Ghazi et Ousdidene, 2017).

- Les fruits

Le fruit est une baie sphérique ou ovoïde de 1 à 3 centimètre de diamètre, de couleur verte ou brun violacé, jaunissant à maturité. Il contient généralement plusieurs dizaines de graines, petites, plates, réniformes, baignant dans une pulpe mucilagineuse provenant de la transformation de l'endocarpe du fruit (Rousselle *et al.*, 1996).

2.2.2 L'appareil souterrain

Le système souterrain représente la partie la plus intéressante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire. L'appareil souterrain comprend le tubercule mère desséché et des tiges souterraines ou stolons. (Rousselle *et al.*, 1996).

- Racines

De nombreuses racines adventives, fasciculées, qui naissent au niveau des nœuds enterrés des tiges feuillés, au niveau des nœuds des stolons et directement sur les tubercules au niveau des yeux (Fig. 5) (Rousselle *et al.*, 1996).



Figure 5 : Système racinaire de la pomme de terre (Ghazi et Ousdidene, 2017)

- Stolons

Ce sont des tiges souterraines, diagéotropes mais qui ont parfois tendance à s'enfoncer dans le sol, en forme de crochet au sommet, avec des entre-nœuds long et des feuilles réduites à des écailles, réparties en spirale le long des stolons comme les feuilles des tiges aériennes. Les stolons peuvent se ramifier et les tubercules se forment dans leur région subapicale. Les stolons apparaissent normalement aux nœuds basaux, enterrés des tiges (Rousselle et al., 1996).

- Tubercule

Il se forme par hypertrophie de l'extrémité du stolon, le tubercule possède les caractéristiques morphologiques et anatomiques d'une tige. Quatre critères principaux sont utilisés pour décrire :

-La forme : Les tubercules sont classés en trois grands types :

-Les claviformes : qui sont plus ou moins 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 (**Fig. 6**) (Rousselle et al., 1996).

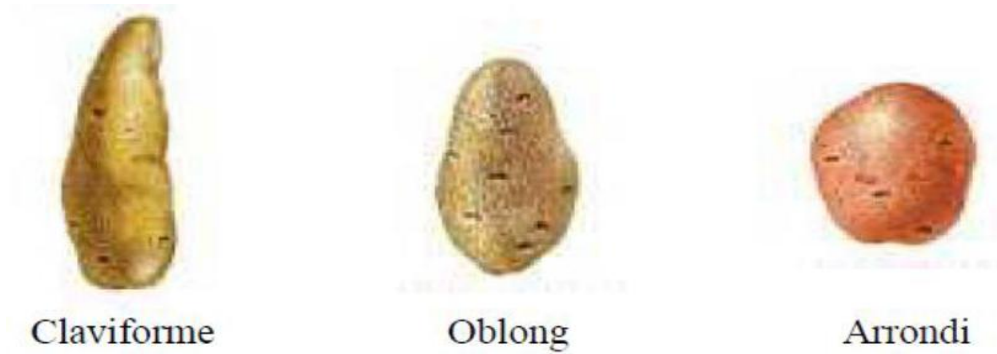


Figure 6 : Différentes formes du tubercule de la pomme de terre
(Chebbah, 2016)

-La couleur : Il faut distinguer deux couleurs celle de la peau et celle de la chair. La couleur de la peau est généralement jaune, mais peut être rouge, noire, brune ou rosé. La couleur de la chair est blanche, jaune plus ou moins foncée, rose, violette selon les variétés (**Rousselle et al., 1992**).

2.2.3 .1 la structure de tubercule

➤ Structure externe du tubercule

A l'extrémité apicale du tubercule, se trouve le bourgeon terminal tandis qu'à l'opposé, du côté proximal (talon), se trouvent le point d'attache du stolon, l'ombilic (**Fig.7 A**). Les yeux, disposés régulièrement sur le tubercule suivant une phyllotaxie spiralée (**Fig. 7 B**), correspondent à l'emplacement des bourgeons axillaires. Des lenticelles parcourent la surface du tubercule et jouent un rôle essentiel dans la respiration du tubercule (**Rousselle et al., 1996**).

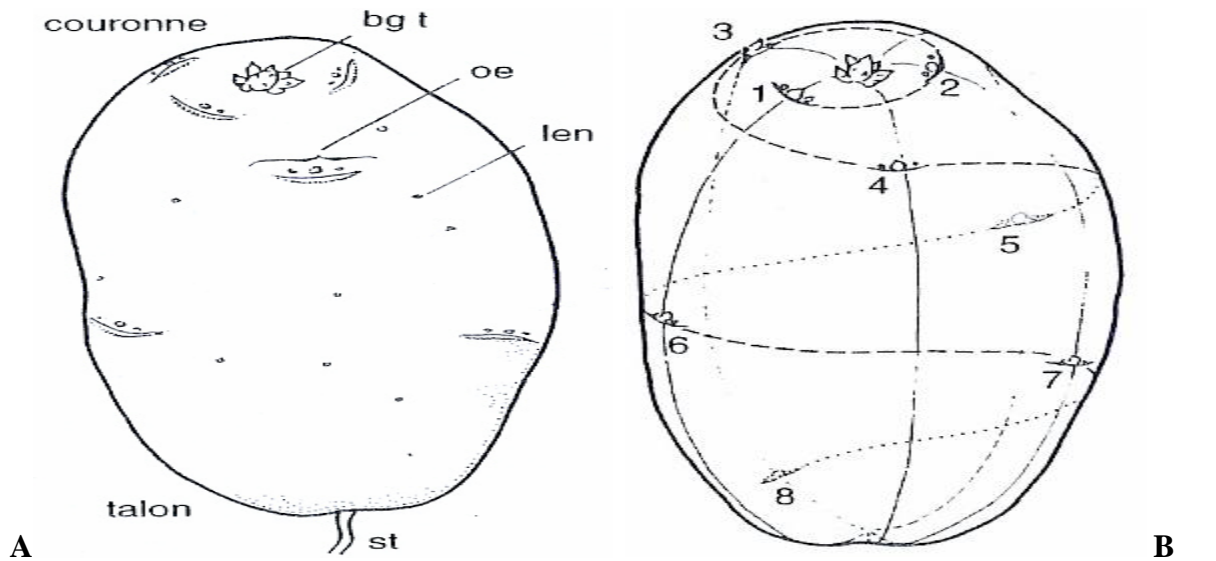


Figure 7 : A. Structure externe du tubercule de pomme de terre présentant le bourgeon terminal (bg t), les yeux (oe), les lenticelles (len) et le stolon (st). **B.** Disposition des yeux à la surface du tubercule : les chiffres de 1 à 8 représentent les yeux (**Rousselle et al., 1996**).

➤ Structure interne du tubercule

En coupe longitudinale d'un tubercule mature (**Fig. 8A**), on distingue de l'extérieur vers l'intérieur : le péricarpe, le cortex ou parenchyme cortical, l'anneau vasculaire composé de phloème externe, de xylème et de parenchyme vasculaire. On peut également remarquer la zone périmedullaire ou parenchyme périmedullaire contenant le phloème interne et enfin, la moelle ou parenchyme médullaire (**Fig. 8 B**) (**Rousselle et al., 1996**).

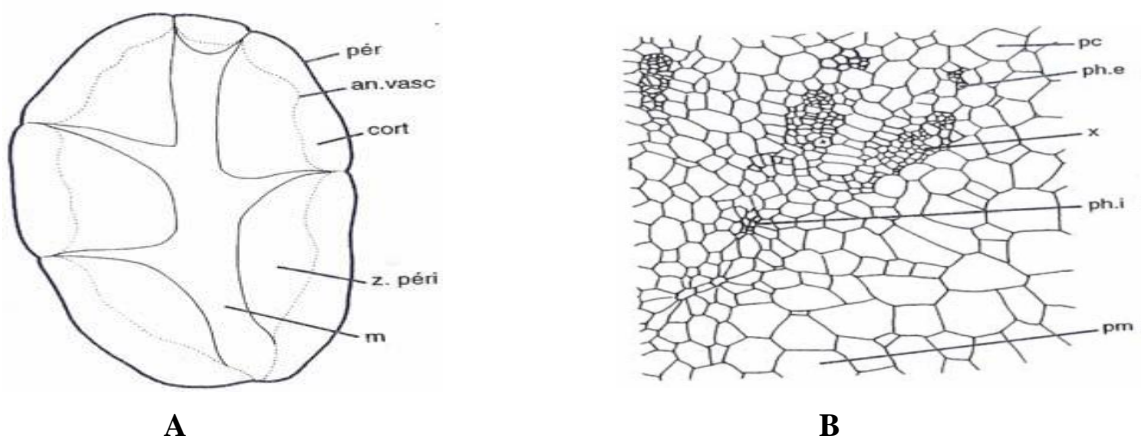


Figure 8 : A. Structure interne du tubercule de pomme de terre mature en coupe longitudinale : (pér), (an.vasc), (cort), (z.péri), (m). **B.** Détail d'une coupe fine des tissus du tubercule de pomme de terre : (pc), (ph.e), (x), (ph.i), (pm) (**Rousselle et al., 1996**).

Les différents parenchymes (cortical, périvasculaire, pérимédullaire, médullaire) contiennent de grandes quantités de grains d'amidon qui diffèrent par leur taille (diamètre de 7 à 32 μm) et leur forme (ovoïde, sphérique) (Rousselle *et al.*, 1996).

2.3. Composition biochimique du tubercule

Les caractéristiques morphologiques, chimiques et biochimiques des tubercules de pomme de terre diffèrent principalement selon la variété, mais dépendent également des cultures, des conditions climatiques et de l'âge physiologique de la pomme de terre. (Fig. 9) (Delaplace, 2007).

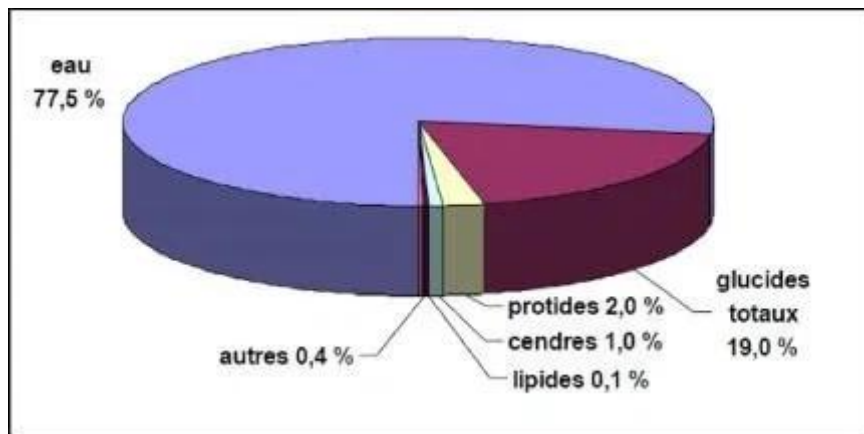


Figure 9: Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) (Delaplace, 2007).

Le tubercule est constitué, principalement, d'eau (environ 75% du poids). Le reste est formé par la matière sèche : acides aminés, protéines, amidon, sucres (saccharose, glucose, fructose), vitamines (C, B1), sels minéraux (K, P, Ca, Mg), acides gras et organiques (citrique, ascorbique) (Rousselle *et al.*, 1996).

3. Le mode de reproduction

- **Elle peut être sexuée** : en passant par les graines du fruit, sous forme de baie sphérique ou ovoïde de 1-3 centimètre de diamètre, de couleur vert brun violacé, jaunissant à la maturité. La graine peut contenir plusieurs dizaines de graines. La graine est albuminée avec un embryon enroulé. (Rousselle *et al.*, 1996).

- **Comme elle peut être végétatif** : on a quatre phases :
- **Phase de croissance** : le tubercule germé et planté en terre, dont les bourgeons axillaires germent et donnent au-dessus du sol des rameaux et au-dessous des stolons .
 - **Phase de tubérisation** : selon la variété et le milieu de culture les extrémités des stolons cessent de croître et se renflent pour former en une ou deux semaines les ébauches des tubercules.
 - **Entrée en repos végétatif des tubercules** : dans ce cas, la tubérisation se prolonge jusqu'au flétrissement de la plante, dans les conditions optimales de température et d'humidité (la dormance).
 - **Phase de germination** : après une évolution physiologique interne, les tubercules deviennent capables d'émettre des bourgeons, plus couramment appelés germes: c'est la germination (**Ghomari. 2014**).

4. La pomme de terre dans le monde

Le secteur de la pomme de terre est en pleine évolution. Jusqu'au début des années 90, la plupart des pommes de terre étaient cultivées et consommées en Europe, en Amérique du Nord et dans les pays de l'ex-Union Soviétique. Depuis lors, la production et la demande de pommes de terre ont enregistré une forte croissance en Asie, en Afrique et en Amérique latine, où la production est passée de moins de 30 millions de tonnes au début des années 60 à plus de 165 millions de tonnes en 2007. En 2005, pour la première fois, la production de la pomme de terre du monde en développement a dépassé celle du monde développé. La Chine est devenue le premier producteur mondial de pommes de terre, et quasiment un tiers de tous les tubercules sont désormais récoltés en Chine et en Inde (**UNPT, 2009**).

D'après le **NEPG** est arrivé, fin octobre 2019, à une nouvelle estimation de récolte pour les pommes de terre de consommation dans les 5 principaux pays (UE-05) du Nord-Ouest de l'Europe. Si toutes les pommes de terre sont arrachées, environ 26,9 millions de tonnes seront récoltées. C'est 10 % de plus que la saison dernière et 1,8 % de plus que la moyenne quinquennale. Les récoltes totales en 2014 et 2017 avaient été beaucoup plus importantes. Cette saison, la production plus élevée a été causée par l'augmentation de la superficie consacrée aux pommes de terre de consommation dans les 5 grands pays, avec 9 % d'extension par rapport à la moyenne des 5 dernières années. Cette année, les rendements moyens globaux sont estimés à 43,9 t/ha, soit 6,8

% de moins que la moyenne quinquennale, mais environ 3 tonnes de plus que la campagne précédente (**Fig. 10**) (UNPT.2019,2020).

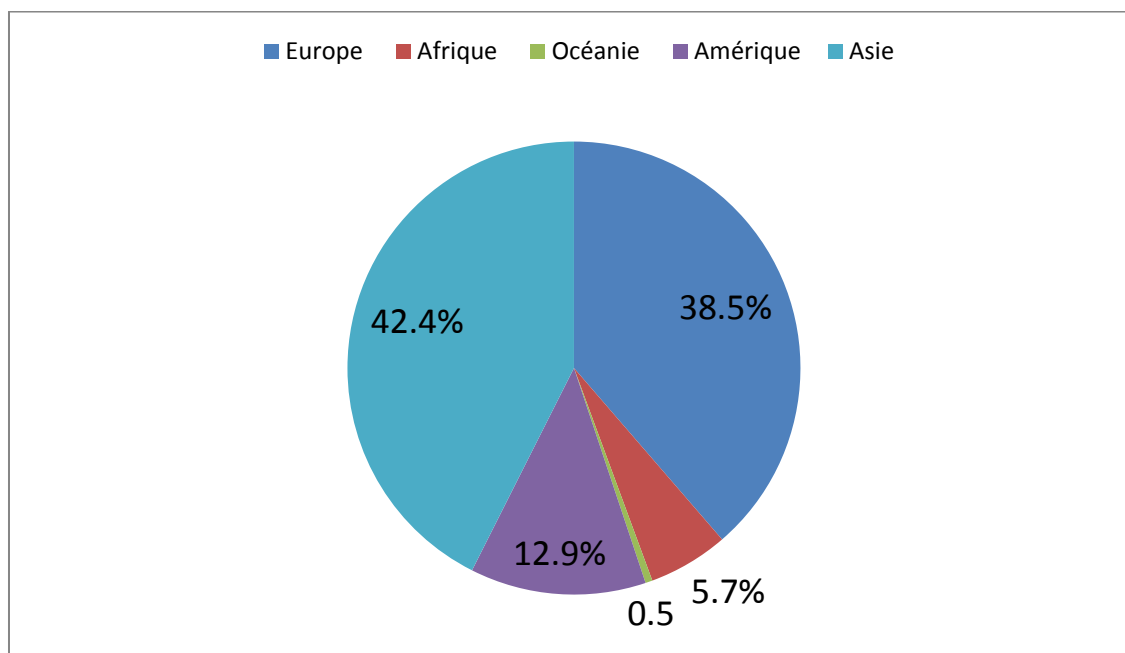


Figure 10 : Production de la Pommes de terre par région (FAOSTAT, 2018)

Sur le plan mondial L'Asie et l'Europe sont les deux principaux continents producteurs de la pomme de terre du monde. Ils ont fourni un pourcentage très important de la production mondiale en 2018. Bien que les l'Afrique soient nettement inférieurs, s'elles ont atteint leurs niveaux record. Et aussi l'Amérique qui obtient de loin les rendements les plus élevés avec plus de 36 tonnes/ha (**Fig. 11 et 12**).

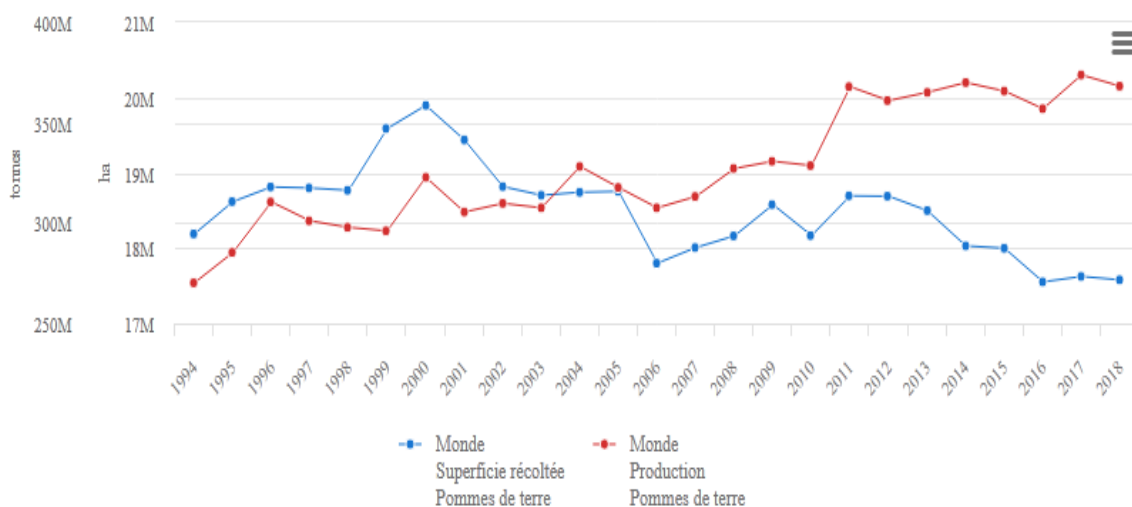


Figure 11 : Production/Rendement de pomme de terre en monde – (1994-2018) selon (FAOSTAT, 2018)

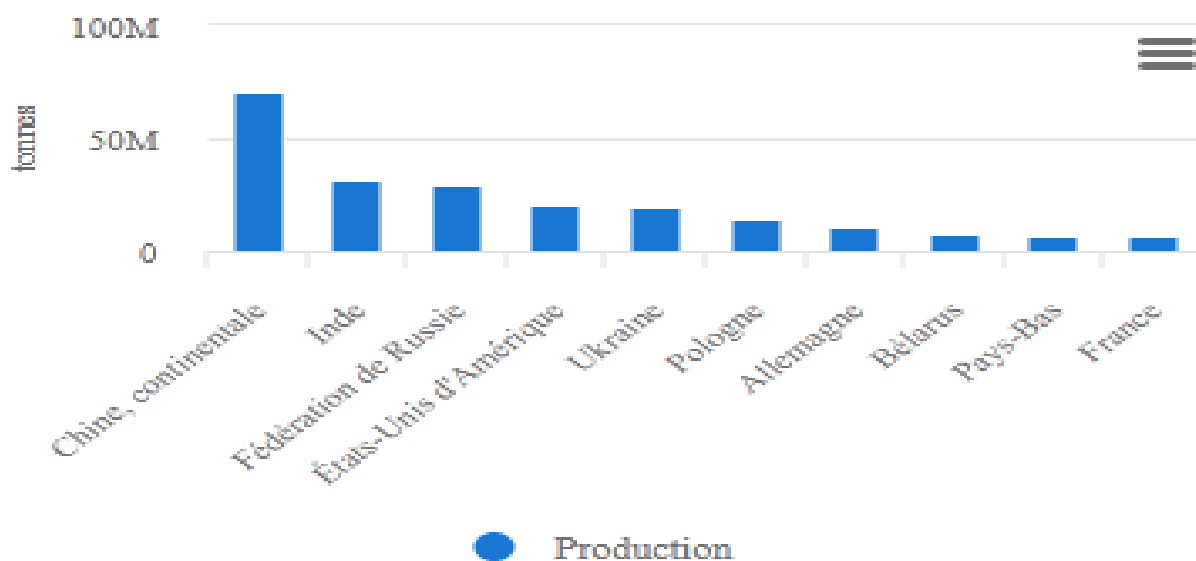


Figure 12 : Production de pomme de terre : 10 principaux pays – (1994-2018) selon (FAOSTAT, 2018)

Quatrième production vivrière mondiale (après le riz, le blé, le maïs) mais première production non céréalière, la pomme de terre s’adapte à des situations très diverses: du cercle polaire à l’équateur en jouant sur les saisons, les variétés, l’altitude...etc. Elle joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial. C’est la principale denrée alimentaire non céréalière du

monde. Parmi 153 pays producteurs de pomme de terre, la production mondiale a atteint le chiffre record de 385,074 Mt en 2014 (FAO, 2018).

5. La pomme de terre en Algérie

La pomme de terre reste une culture stratégique en Algérie. Cette culture s'est développée dans les régions du nord et se développe actuellement dans le sud de l'Algérie. Sa production reste très variable selon les années, allant de 1,5 million de tonnes à près de 2 millions de tonnes, pour une superficie allant de 85000 à 100000 hectares pour les trois types de production (précoce, saisonnière, hors saison) (CNCC, 2013).

Après que *Solanum tuberosum* fut introduite en Algérie au milieu du XIXème siècle, l'essentiel de la production était expédié en France. En 1962, lorsque le pays acquit son indépendance, il produisait 250 000 tonnes par an et en exportait environ le tiers. (FAOSTAT, 2008). Depuis, la pomme de terre est devenue une des principales cultures destinées à la consommation domestique et en 2006, la production a atteint le chiffre record de 2,18Mt. La superficie cultivée est de 90 000 ha, et la pomme de terre peut être plantée et récoltée dans n'importe quelle région, à pratiquement n'importe quel mois de l'année. Elle est surtout cultivée sur la côte méditerranéenne, qui jouit d'un climat tempéré propice à sa culture tout au long de l'année. On en trouve aussi à 500 mètres, sur les montagnes et les vallées entre la côte et les monts Atlas ainsi que sur les hauts plateaux. La consommation annuelle, qui était de 35 kg/par habitant en 1990, est passée à 57 kg en 2005. (FAOSTAT, 2008). Selon OMARI conseillé au MADRP, l'année passée, on a enregistré 1,5 Mt pour l'arrière-saison. Cette année on termine l'arrière-saison à la fin du mois de mars et on est à peu près à 1,8 million de tonnes. Après la crise de 2007 un dispositif d'encadrement de la filière a été mise en place depuis 2009 grâce à ce système de régulation SYRPALAC, le volume de la production a grimpé de 2,6 Mt en 2009 à 4,6 Mt en 2015 avec 150 mille ha cultivés (INRA, 2017) (Tab.1).

Tableau 01 : Evolution de la production de pomme de terre en Algérie (1971-2014) (Chahredine ,2018).

Production de pomme de terre (Tonnes)	Années
273647	1971

575068	1975
590600	1980
814700	1985
808541	1990
1200000	1995
1207690	2000
2155550	2005
3300312	2010
4673516	2014

Tableau 02 : Les principales wilayas productrices de pomme de terre en Algérie (Chahredine ,2018).

Wilaya	Surface (hectares)	Production (quintaux)
Ain Defla	15 230	320 000
Mascara	9 050	208 700
Tlemcen	7 505	197 900
El Oued	7 392	181 800
Mostaganem	6 668	159 500
Chlef	4 015	115 200
Boumerdes	3 600	93 200
Skikda	3 212	57 100
S/Total	66 672	1 333 408
T/ Algérie	98 825	2 180 900

La wilaya d'Ain Defla, wilaya qui assure un pourcentage très important de la production nationale, ainsi El Oued, une région produisant environ 40% de la production nationale de ce tubercule (**Tab. 2**).

La répartition de la production par zone géographique donne en tête la wilaya d'El Oued, dans le Sahara (900 km au sud d'Alger) avec une production annuel qui dépasse 181800 quintaux, suivie de la wilaya d'Ain-Defla avec une production importants 320000 quintaux et Mostaganem avec plus de 159500 quintaux annuels (**Naili, 2019**) On serait tenté de penser que la croissance de la production de pommes de terre est liée à celle des rendements. Mais en fait l'augmentation de la production est plus corrélée à l'augmentation des surfaces cultivées.

Ce n'est pas un hasard si la pomme de terre est devenue la deuxième culture en termes de surfaces, après les céréales. Les rendements sont restés généralement entre 150 et 260 q/ha, selon FAOSTAT, pour une moyenne mondiale de l'ordre de 400 q/ha. En revanche les surfaces ont été multipliées, dépassant actuellement les 100 000 ha. Sans tenir compte du taux d'occupation des sols (plusieurs cultures par an) qui lui aussi est un facteur démultipliant **(Benadjila, 2019)**.

Selon un rapport de la **FAO**, L'Algérie occupe la deuxième place, après l'Egypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique pour l'année 2010, la production nationale a dépassé le seuil de trois millions de tonnes durant l'année 2010. Elle est cultivée sur une superficie estimée à 126 milles hectares. La moyenne à hectare a atteint 26 tonnes **(Chahredine ,2018)**.

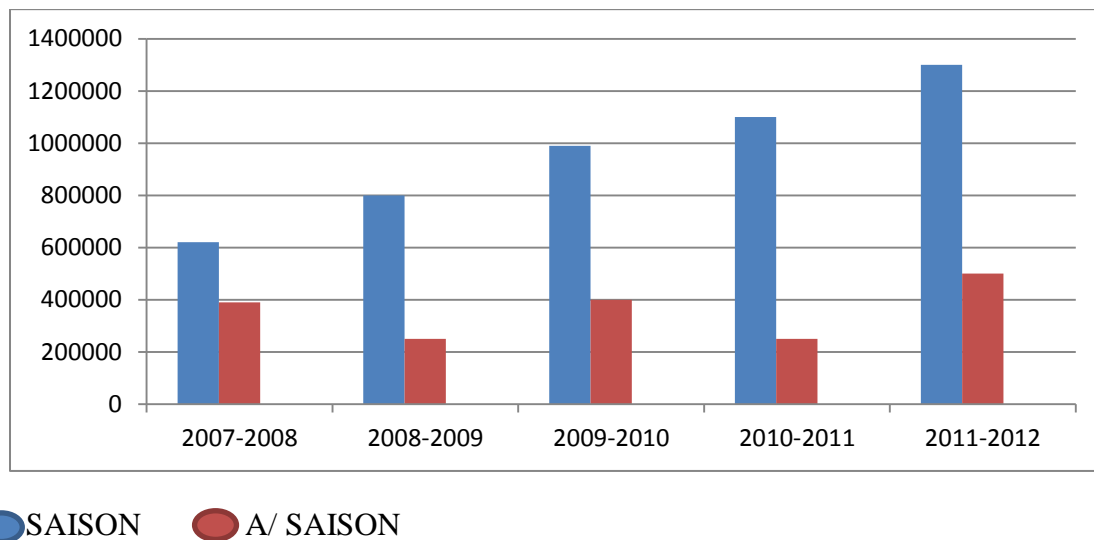


Figure 13 : Productions de la culture pommes de terre durant la période 2007- 2012 **(FAOSTAT, 2008)**.

Les saisons de la culture :

- Les cultures de saison (représentent 65 % en surface) sont réalisées entre Janvier et Avril.
- Les cultures d'Arrière-saison (représente 20 à 25 % en surface) dont la période de plantation entre Juin à Septembre.
- les cultures de primeur (limitées aux zones littorales, sublittorales et au sud) dont les plantations se situent entre Octobre et Décembre (représente 10 à 15 % en surface) **(CNCC, 2013)**.

6. Les variétés de la pomme de terre

6.1. Variétés les plus cultivées en Algérie

Cent vingt variétés sont inscrites au catalogue algérien des espèces et variétés cultivées. Cette inscription est obligatoire pour leur commercialisation. Elle est précédée de deux ans au cours desquels sont évalués les caractères d'utilisation, le rendement, le comportement vis-à-vis des parasites par le service de contrôle et certification des semences et plants CNCC. Les principales variétés cultivées en Algérie sont : *Spunta* (à chair blanche), *Désirée* (à chair jaune), *Bartina*, *Lisita* (Tab. 3), (Boufares, 2012). Ces variétés sont différents de par leur : Forme du tubercule, leur couleur de la peau et de la chair, leur durée de conservation, leur date de mise sur le marché et finalement par la durée de culture.

Tableau 3 : Liste des variétés de pommes de terre autorisées à la production et à la commercialisation en Algérie. (Arrêté du 9 Ramadhan 1427 correspondant au 2 octobre 2006 fixant la liste provisoire des espèces et variétés de pommes de terre autorisées à la production et à la commercialisation) (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 18,2007)

Variétés oblongues allongées	Autres variétés		
1 - Alaska	1 - Accent	30 - Cosmos	59 - Obelix
2 - Aida	2 - Adora	31 - Daifla	60 - Oléva
3 - Allegro	3 - Agria	32 - Désirée	61 - Oscar
4 - Amorosa	4 - Ailsa	33 - Diamant	62 - Ostara
5 - Apolline	5 - Ajiba	34 - Ditta	63 - Pamela
6 - Arinda	6 - Ajax	35 - Escort	64 - Pamina
7 - Arnova	7 - Akira	36 - Fabula	65 - Pentland
8 - Ballade	8 - Almera	37 - Famosa	Dell
9 - Bellini	9 - Ambo	38 - Florice	66 - Pentland
10 - Cantate	10 - Anna	39 - Folva	Square
11 - Carmine	11 - Apollo	40 - Frisia	67 - Provento
12 - Ceasar	12 - Argos	41 - Granola	68 - Raja

13 - Coralie	13 - Armada	42 - Jaerla	69 - Red Cara
14 - Cleopatra	14 - Aranka	43 -	70 - Red Pontiac
15 - Dura	15 - Ariane	Kennebec	71 - Remarka
16 - Elodie	16 - Asterix	44 - Kingston	72 - Resy
17 - Elvira	17 - Atlas	45 - Kondor	73 - Rosara
18 - Estima	18 - Atica	46 -	74 - Rubis
19 - Hanna	19 - Balanse	Korrigane	75 - Sahel
20 - Hermine	20 - Baraka	47 - Kuroda	76 - Samanta
21 - Idole	21 - Barna	48 - Ilona	77 - Satina
22 - Liseta	22 - Bartina	49 - Isna	78 - Secura
23 - Monalisa	23 - Burren	50 - Labadia	79 - Simply Red
24 - Nicola	24 - Cardinal	51 - Latona	80 - Slaney
25 - O.Siréne	25 - Carlita	52 - Lola	81 - Stemster
26 - Rodéo	26 - Claret	53 -	82 - Superstar
27 - Safrane	27 - Chieftain	Maradona	83 - Symfonia
28 - Spunta	28 - Concurrent	54 -	84 - Tulla
29 - Terra	29 - Cornado	Margarita	85 - Valor
30 - Timate		55 - Mirakel	86 - Vivaldi
31 - Ultra		56 - Mondial	87 - Xantia
32 - Voyager		57 - Navan	
33 - Yesmina		58 - Novita	

6.1.1. Principales variétés cultivées dans la région d'El-Oued

Selon les données acquises auprès de la chambre d'agriculture de la wilaya d'El oued et direction de services agricole de la wilaya d'El oued, environ seize variétés de la pomme de terre sont cultivées dans la région du Souf: Spunta, Desirée, Kondor, Diamant, Bartina, Atlas, Cornado, Exort, Maradona, Bolla, Tomate, Marosa et Lisita, mais les plus cultivées sont Spunta, Desirée, Kondor et Bartina où la superficie plantée en variétés à peau blanche représente environ 60% de la superficie totale plantée (**Fig. 14**) (CAW,2018).

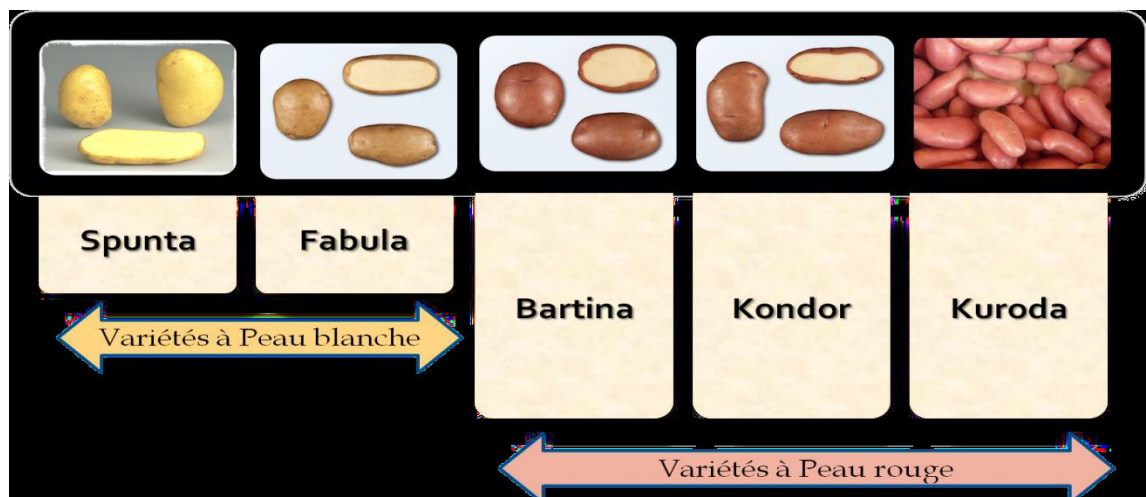
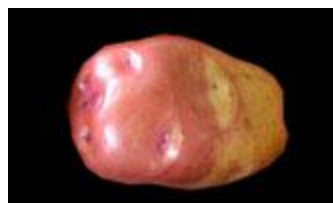


Figure 14 : Principales variétés cultivées dans la région du Souf (CAW ,2018)

6.2. Variétés de pommes de terre dans le monde

Les pommes de terre cultivées dans le monde appartiennent à la même espèce botanique, *Solanum tuberosum*, il existe des milliers de variétés, qui diffèrent grandement par la taille, la forme, la couleur, l'utilisation culinaire et le goût nous présentant quelques exemples (fig. 15) (FAOSTAT, 2013).



1. Atahualpa

Cultivée au Pérou, rendement élevé, convient cuite au four ou frite



2. Nicola

Variété hollandaise courante, savoureuse bouillie ou en salade



3. Russet Burbank

Un classique américain, excellente cuite au four et pour les frites



4. Lapin puikula

Cultivée en Finlande, dans des champs baignés par le



5. Yukon Gold

Variété canadienne, chair jaune et crémeuse, convient



6. Tubira

Cultivée en Afrique de l'Ouest. Chair blanche, peau

soleil de minuit



7. Vitelotte

Variété française, prisée des gourmets, peau bleu foncé et chair violette

frite, bouillie ou en purée



8. Royal Jerse

De Jersey, c'est le seul légume anglais doté d'une appellation d'origine de l'UE

rose, bon rendement



9. Kipfler

Originnaire d'Allemagne, forme allongée, chair crème, bonne en salade



10. Papa colorada

Introduite aux îles Canaries en 1567 par des bateaux espagnols de passage



11. Maris Bard

Cultivée au R.-U., chair blanche, texture douce et ferme, convient pour bouillir



12. Désirée

Peau rouge, chair jaune, saveur caractéristique



13. Spunta

Variété commerciale, convient pour bouillir et rôtir



14. Mondial

Variété hollandaise à la peau lisse. A consommer bouillie ou en purée



15. Inconnu

Une des 5 000 variétés encore cultivées dans les Andes

Figure15 : Exemple de quelques types de pomme de terre (FAOSTAT, 2013).

7. Exigences écologiques de la pomme de terre

7.1. Exigences climatiques

7.1.1 .Température

Cela affecte grandement le type de croissance. Les températures plus élevées stimulent la croissance des tiges. En revanche, des températures plus basses favorisent la croissance du tubercule. Les pommes de terre sont très sensibles au gel. Le zéro végétatif se situe entre 6 et 8° C. Les températures optimales pour la culture des tubercules se situent autour de 18 ° C le jour et 12 ° C la nuit. Une température du sol supérieure à 25 ° C est défavorable à la tuberculose **(Zine, 2009)**.

7.1.2. La lumière

La pomme de terre est une plante héliophile. Ses besoins en lumière sont importants Surtout pendant la phase de croissance. Ce facteur est déterminant pour la photosynthèse et la Richesse en fécule des tubercules **(Zine ,2009)**.

7.1.3 L'humidité

L'humidité est un facteur limitant dans le cas d'une culture de pomme de terre, la Production suffisant pour permettre à la plante de suivre son développement le Plus normalement possible. A noter qu'une carence ou un déficit en humidité pourrait avoir des conséquences très grave vis-à-vis des rendements surtout aux stades croissance et tubérisation **(Zine ,2009)**.

7.2. Exigences édaphiques

7.2.1. Structure et texture du sol

La plupart des sols conviennent à la culture de la pomme de terre à condition qu'ils soient bien drainés et pas trop pierreux. Les sols préférés sont ceux qui sont profonds, fertiles. En général, la pomme de terre se développe mieux dans des sols à texture plus ou moins grossière (texture sablonneuse ou sablo-limoneuse) que dans des sols à texture fine et battante (texture argileuse ou argilo-limoneuse) qui empêchent tout grossissement de tubercule **(Rachdame, 2010)**.

7.2.2 pH.

La pomme de terre peut donner de bons rendements lorsque le sol est légèrement acides (pH 5,5< pH<6). Le développement de la galle Commune sur tubercule est causé par l'alcalinité excessive du sol **(Rachdame, 2010)**.

7.2.3. Salinité

La pomme de terre est relativement tolérante à la salinité par rapport aux autres Cultures maraîchères. Cependant, un taux de salinité élevé peut bloquer l'absorption de l'eau Par le système racinaire. Lorsque la teneur en sel est élevée, le point de flétrissement est atteint rapidement. On peut réduire la salinité d'un sol en le lessivant avec une eau d'irrigation douce. **(Rachdame, 2010).**

8. La production de pomme de terre dans les régions Saharienne

La pomme de terre peut être plantée et récoltée dans les wilayas de sud, en fonction des saisons, qui se caractérisent par un climat désertique, une période estivale chaude et un hiver doux propice à sa culture tout au long de l'année. Les trois principales zones de production de pomme de terre sont les suivantes : El Oued, Laghouat et Ouargla **(CDARS, 2017).**

Tableau 4 : Production de la pomme de terre dans les régions Sahariennes de l'Algérie **(CDARS, 2017).**

WILAYA	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
ADRAR	278	42300	152
LAGHOUAT	2978	787880	265
BISKRA	94	20724	220
BECHAR	128	19504	152
TAMANRASSET	85	13815	162
OUARGLA	758	223070	294
ILLIZI	3	379	126
EL-OUED	35000	11725000	335
GHARDAIA	112	30240	270
TOTAL	39444	12866112	326

La production de la pomme de terre au niveau des régions sahariennes a atteint le chiffre record de 12866112Qx dans une superficie cultivée de 39444 hectares.

8.1. La production de la pomme de terre dans la wilaya d'El-Oued

La wilaya d'El-Oued renferme une surface agricole dédiée à la culture de pomme de terre vaste de 33 000 ha, soit 46% de la superficie agricole de la wilaya (80 000 ha), se plaçant à la tête des wilayas productrices à l'échelle nationale avec une contribution de 24% à la

production nationale, soit une récolte annuelle de plus de 11 millions quintaux. (El Wantan, 2019). Neuf zones agricoles productrices de pomme de terre de la wilaya d'El-Oued (Reguiba, Taghezout, Guemmar, Robbah, Hassi-Khelifa, Trifaoui, Magrane, Ourmas et Oued El-Allenda) (TRIBUN ,2020). La wilaya d'El Oued occupe la première place en matière de production de pommes de terre, avec 13 millions de quintaux et une superficie plantée de 40 000 hectares, représentant 30% de la production nationale. La wilaya d'El Oued est devenue, en l'espace de dix ans, la région agricole la plus importante de l'Est de l'Algérie, approvisionnant ainsi le marché local de produits divers, ce qui incite aujourd'hui les producteurs à envisager sérieusement l'exportation des produits agricoles, afin de contribuer à l'économie nationale et de maintenir la stabilité du marché(Ouramdane,2019).

9. Technique de culture de la pomme de terre

➤ Préparation des plants

La pomme de terre doit être plantée dans le sol profond, fertile et humifère, de pH neutre a une exposition en soleillée ou mi- ombragée, l'essentielle est l'obtenir une levée régulière et rapide, ainsi qu'un développement racinaire important. Les plants doivent être mis en pré-germination avant la plantation, une durée plus longue sur terrain et par la suite un rendement faible. En cas où le premier germe a démarré il faut le supprimé afin d'accélérer les germes latéraux; les plants sont disposés dans un local bien aère et éclairé afin d'obtenir des germes trapus, verdâtre, ne dépassant pas 10mm, facile à manipuler lors de la plantation (Polese, 2006).

La densité d'une culture de la pomme de terre n'est autre que le nombre de tiges/m². Pour une bonne occupation du sol, 15-20 tiges /m² paraît optimal. Un plant de calibre 35-55 mm pré germé produit approximativement 5 à 6 tiges principales. Généralement, on place 4 plants/m². Avec une distance de 70 cm entre lignes et 30 cm entre plants, on a besoin de 2000 à 2500 kg de semences par hectare (Bamouh, 1999). Lors de plantation, manipulez les germes avec précaution. On plante les tubercules en creusant des trous à la bêche, ou la binette d'une profondeur égale au double de la taille du plant, soit le plus souvent 10 cm de profondeur, les germes tournés vers le haut. On rebouche le trou sans lasser. On peut aussi planter dans un sillon tracé à la houe (Polese, 2006).

➤ Préparation du sol

La préparation du sol consiste à assurer un bon contact entre le tubercule et le sol. Le sol doit être préparé sur une profondeur d'au moins 25-30 cm. Une telle couche meuble favorise l'aération du sol, assure un bon développement racinaire et facilite le buttage. La réalisation d'un bon lit de semences peut se faire de la façon suivante :

- Labour moyen 25 à 30 cm avec charrue.
- Epannage de la fumure organique et des engrais phospho-potassiques que l'on enfouie à l'aide d'un cover-crop croisé.
- Confection des lignes ou billonnage : Ces travaux sont beaucoup plus faciles à réaliser dans un sol léger que dans un sol lourd. Dans un sol lourd les travaux du sol doivent se limiter à la couche supérieure suffisamment ressuyée (**Bamouh, 1999**).

➤ **Buttage**

Le buttage est respectivement réalisé en une étape lors de la plantation ou en deux étapes espacées de 10 à 15 jours (**Rousselle et al. 1996**). Son but essentiel est d'assurer une bonne nutrition de la plante, de favoriser le grossissement des tubercules et de faciliter l'arrachage mécanique. Une butte bien réalisée assure également une protection efficace contre l'attaque de la teigne et contre le mildiou (**Yakhlef, 2014**).

➤ **Fertilisation**

La fertilisation reste l'un des facteurs les plus importants pour une bonne production de pommes de terre (**Zine, 2009**). La fertilisation est un processus consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante.

Les objectifs finaux de la fertilisation sont d'obtenir le meilleur rendement possible compte tenu des autres facteurs qui y concourent (qualité du sol, climat, apports en eau, potentiel génétique des cultures, moyens d'exploitation) ainsi que la meilleure qualité et ce, au moindre coût (**Khedir et Letoufa, 2008**). Les éléments les plus importants pour la plante sont: N (Azote)- P (Phosphore)-K (Potassium)-Mg (Magnésium) et Ca (Calcium). La pomme de terre est très exigeante en fumure organique. Cependant, dans un sol pauvre en matière organique, En effet, pour éviter les risques de carence, la fumure organique doit être complétée par la fumure minérale. L'azote est un élément fondamental pour la croissance de la plante. Le maximum d'absorption a lieu au moment du développement maximum de feuilles (50 à 80 jours après plantation). Lors de la plantation, l'azote peut être appliqué sous

forme de sulfate d'ammoniaque. Les formes nitrates, sont toujours fractionnées au cours de la culture vu leur solubilité rapide. Le phosphore intervient dans les phénomènes de floraison, fructification et maturation d'où son action comme facteur de précocité et de rendement. Le phosphore est difficilement absorbé par la plante. Pour cela il doit être appliqué avant plantation et sous la forme la plus assimilable. Le potassium est le principal composant pour la tubérisation. Il favorise le développement de la plante et augmente légèrement la résistance au froid. La carence en K cause des nécroses. La forme sulfate est plus préférable que la forme chlorure (**Bamouh, 1999**).

➤ 5. Binage

La culture de la pomme de terre demande une terre propre Pour une bonne production. L'opération binage consiste à prélever toutes les mauvaises herbes poussantes entre les lignes entre les plants. Le 1er binage se fait 2 à 3 semaines après la levée, puis il est répété chaque fois qu'on irrigue. Il faut veiller à ne pas toucher le système racinaire et les tubercules nouvellement formés (**Bamouh, 1999**).

➤ 6. L'irrigation

Selon **Zine (2009)**, L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante en assurant les mécanismes suivants :

- Transport des éléments minéraux.
- Transport des produits photosynthétiques.
- Transpiration et régulation thermique au niveau des feuilles.

D'après **Bamouh (1999)**, la pomme de terre est très sensible à la fois au déficit hydrique et à l'excès d'eau. Une courte durée de sécheresse peu affecter sérieusement la production. De même un excédent d'eau entraîne l'asphyxie des racines et la pourriture des tubercules. Des variations excessives de l'humidité du sol influencent la qualité en provoquant la croissance secondaire des tubercules.

• Dose d'irrigation

Les besoins en eau vont principalement avec la profondeur du système racinaire et varient selon la période. Avant la tubérisation situent environs de 3-4 mm d'eau /jour et de

5-6 mm/jour dès la formation des tubérisations et les besoins totaux atteignent environ 455mm (**Rachdame, 2010**).

- **Fréquence d'irrigation**

La quantité d'eau nécessaire est faible pendant la germination. Le tubercule mère doit être entouré du sol humide, mais pas mouillé. De ce stade jusqu'à la formation des tubercules (60 à 90 jours) après plantation, l'irrigation doit être faite (6 à 7 jours) en sol léger et 12 à 15 jours en sol lourd. Les besoins en eau sont très levés particulièrement au moment de la croissance foliaire de la tubérisation. Pour tous les types de cultures, on arrête l'irrigation 10 à 20 jours avant la récolte. (**Bamouh, 1999**).

- **Défanage**

Le défanage consiste à éliminer en fin de culture la partie aérienne du plant de pomme de terre afin de stopper la croissance des tubercules. La méthode la plus utilisée est le défanage chimique. Il intervient plus ou moins précocement selon le type de production. Après le défanage, les tubercules sont laissés en terre pour une période de 2 à 4 semaines afin de permettre leur maturation (**Delaplace, 2007**).

- **Récolte**

La durée du cycle végétatif de la pomme de terre est variable. L'arrachage des tubercules intervenant en fin de cycle est une opération délicate qui influence la qualité de présentation et l'aptitude à la conservation des tubercules. Les arracheuses mécaniques actuelles permettent l'arrachage de tous les tubercules en limitant le risque de meurtrissures et en éliminant la terre, les mottes, les cailloux et les fanes desséchées. (**Delaplace, 2007**).

- **Séchage**

Les tubercules doivent être séchés avant stockage afin d'éviter l'apparition de pourritures. Si ils sont récoltés humides. Le séchage nécessite en moyenne de deux à trois jours de ventilation avec une capacité élevée (**Delaplace, 2007**).

- **Période de cicatrisation**

La durée de la période de cicatrisation post-récolte est généralement de 2 à 3 semaines

La cicatrisation des blessures s'effectue d'autant plus vite que la température est élevée. Pendant cette période, l'hygrométrie est normalement élevée et comprise (entre 85 et 95 %) (Delaplace, 2007).

➤ **Conservation**



Pour assurer une bonne conservation, seuls les tubercules non infectés doivent être conservés. Comme le tubercule fait partie d'une tige vivante, il continue à vivre pendant la période de stockage. Pour le maintenir dans son processus de vie, il prend un bon contrôle de l'environnement; (Température et humidité relative). Ces facteurs varient en fonction de la destination du produit (Bamouh, 1999). D'après Rousselle *et al*, 1996. A l'exception des pommes de terre de primeur, commercialisées dès la récolte, tous les autres types sont susceptibles d'être conservés pendant une période pouvant aller de quelques semaines à plus de (8-10 mois) La durée de stockage « agronomiquement intéressante » se situe donc dans cet intervalle. Durant cette période, des traitements chimiques ou thermiques peuvent être réalisés afin d'inhiber la germination. L'isopropyl N-(3-chlorophenyl) carbamate (CIPC) est un anti germinatif irréversible au contraire de l'hydrazide maléique ou du carbone. Il est utilisable lors du stockage des tubercules de pomme de terre de consommation. Selon le débouché, une température de stockage minimale de 6°C peut être retenue pour la pomme de terre de transformation, une température de 3°C pour la pomme de terre destinée au marché du frais, l'humidité relative étant, quant à elle, ajustée afin de limiter le déficit de pression de vapeur des tubercules.




10. Les maladies et les ennemies de la pomme de terre


La pomme de terre est attaquée comme les autres plantes par plusieurs microorganismes phytopathogènes comme les bactéries, les virus et les différents parasites (Tab. 5).

Tableau 5 : Différents agents pathogènes et ravageurs de la pomme de terre (A : Bactéries, B : champignons, C : Virus, D : insectes) (**Kerr, 2014**).

A : Maladies bactériennes



Maladies	Causées par	Symptômes	Images	Lutter
Gale commune	<i>Streptomyces scabiei</i>	Ils vont de lésions superficielles subéreuses à de larges galles ou des pustules, qui atteignent les pommes de terre individuellement ou en groupe. Parfois, les symptômes peuvent ressembler à ceux de la gale poudreuse. Les symptômes de la gale plate se présentent comme des taches liégeuses brunes sur l'épiderme.		Utiliser des variétés résistantes. Irriguer au moment de la formation du tubercule ou peu après; toutefois une irrigation excessive peut augmenter le risque de gale poudreuse. Éviter les terres alcalines ou les terres qui ont été chaulées.
Jambe noire	<i>Pectobacterium spp.</i>	<i>Pectobacterium spp.</i> : Les plantes sont rabougries et ont une apparence «dure». Les feuilles sont rigides et érigées, s'enroulant souvent vers l'intérieur au sommet. Une pourriture visqueuse noire apparaît généralement à la base de la tige lorsque la maladie progresse. Les tiges atteintes sont facilement arrachées Tubercules : Une pourriture molle blanche, légèrement brune, se répand à partir du talon ou des lenticelles. Un		Utilisation de plants de pomme de terre sains. Précautions prophylactiques à tous les stades


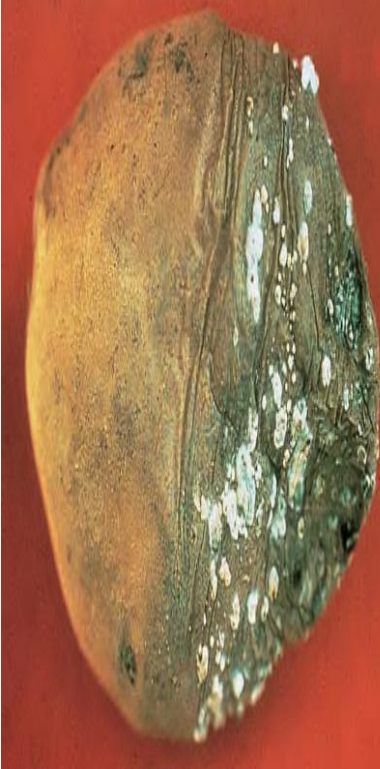
		<p>bord sombre entoure la zone touchée. La pourriture dégage une odeur de poisson caractéristique.</p>		
<p>pourriture annulaire</p>	<p><i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>Sepedonicus</i></p>	<p>touchant habituellement les feuilles inférieures, avec parfois enroulement des feuilles. Les zones entre les nervures des feuilles deviennent chlorotiques et les bords des feuilles se nécrosent</p> <p>Tubercule : L'anneau vasculaire et le tissu qui l'entoure sont de couleur jaune pâle ou ont un aspect vitreux, puis s'assombrissent à mesure que la maladie progresse.</p>		<p>Considé­ré comme parasite de quarantaine dans la plupart des pays, c'est-à-dire exclusion de la production de pommes de terre, le pathogène doit être éradiqué en cas de présence avérée.</p>
<p>Pourriture brune</p>	<p><i>Ralstonia solanacearum</i></p>	<p>le flétrissement des folioles les plus jeunes au moment le plus chaud de la journée, puis rabougrissement des plantes, un flétrissement général, un jaunissement du feuillage et la mort de la plante. Un exsudat bactérien</p>		<p>Considé­ré comme parasite de quarantaine dans la plupart des pays, c'est-à-dire exclusion de la production de pommes de terre, l'agent pathogène doit être</p>


		<p>peut suinter du tissu vasculaire des tiges coupées.</p> <p>Sur les tubercules : brunissement de l'anneau vasculaire à partir de l'extrémité du stolon. A mesure que la maladie progresse, le tissu vasculaire pourrit complètement et un suintement gluant de couleur pâle peut apparaître au niveau des yeux, des lenticelles et/ou des stolons du tubercule, entraînant des adhérences de terre à ces endroits.</p>		<p>éradiqué en cas de présence avérée de la bactérie.</p>
--	--	--	--	---

B : Maladies fongiques

<p>Mildiou</p>	<p><i>Phytophthora infestans</i></p>	<p>Des taches allongées de couleurs blanches ou jaunes blanchâtres ou jaunâtres apparaissent sur les feuilles (souvent à l'extrémité), et éventuellement un feutrage blanc-gris sur la face inférieure. Les feuilles blanchissent rapidement, puis se dessèchent. Le mildiou provoque aussi des taches brunes sur et à l'intérieur des tubercules. Le champignon reste dans</p>		<p>Utilisation de fongicides foliaires, de variétés résistantes et de plants de pomme de terre sains. Élimination de sources possibles d'inoculum, par exemple les déchets de pommes de terre infectées. Pour</p>
-----------------------	--------------------------------------	---	--	---




		<p>le sol et peut donc infecter les nouveaux plants de pommes de terre.</p>		<p>tubercule Prévenir la présence de mildiou sur les tubercules récoltés en luttant contre la maladie au champ;</p>
<p>Rhizoctone brun</p>	<p><i>Rhizoctonia solani</i></p>	<p>Plante : Levée irrégulière, flétrissement, rabougrissement</p> <p>Tige et stolons : Des lésions brunes légèrement déprimées et aux bords anguleux se développent sur la base des tiges. Un collet de moisissure blanc poudreux, superficiel, apparaît sur les tiges justes au-dessus du niveau du sol. La croissance fongique entraîne un dessèchement et une fragilité du tissu.</p> <p>Tubercule : Défauts superficiels causés par des sclérotés de couleur brun foncé ou noirs qui se forment à la surface du tubercule; la superficie peut être difficile à évaluer correctement sur des tubercules sales non</p>		<p>Utiliser des tubercules bien germés. Éviter une plantation précoce et en profondeur par temps froid. Pratiquer de longues périodes de rotation. Appliquer des fongicides avant la plantation.</p>

		<p>lavés. Des crevasses accompagnées d'une peau réticulée en étoile et de trous en forme de trompette peuvent être un symptôme du <i>Rhizoctonia</i>.</p>		
<p>Fusariose</p>	<p><i>Fusarium spp</i></p>	<p>Les feuilles de la plante jaunissent et se flétrissent. Puis la plante finit par être complètement desséchée. La maladie se manifeste également lors de la conservation. A l'endroit où les pommes de terre présentent des blessures, des taches de pourriture brun-pâle apparaissent. Les champignons responsables de la fusariose résistent au froid et donc à l'hiver.</p>		<p>Éviter le plus possible les chocs mécaniques, appliquer des fongicides, pratiquer de longues rotations.</p>



<p>Alternariose</p>	<p><i>Alternaria</i> spp.</p>	<p>L'infection par <i>Alternaria</i> spp. provoque sur les feuilles des lésions qui ressemblent souvent à des taches ayant la forme d'anneaux concentriques ressemblant à une cible. Ces taches apparaissent habituellement quelques semaines après la levée de la plante et, dans un premier temps, sur les feuilles du bas, sous la forme de toutes petites taches noires ou brunes qui s'agglomèrent par la suite. Les symptômes peuvent être confondus avec la maladie des taches bronzées de la tomate ou une carence en magnésium. L'alternariose diffère du mildiou dans la mesure où aucune sporulation d'un blanc laiteux ne se forme autour de la lésion sur la face inférieure de la feuille par temps humide. Les tubercules infectés sont parfois atteints d'une pourriture sèche essentiellement superficielle.</p>		
----------------------------	-------------------------------	---	---	--



C : Maladies virales

<p>Virus de l'enroulement</p>	<p><i>PLRV Potato Leafroll</i></p>	<p>Les feuilles s'enroulent vers l'intérieur et deviennent sèches</p>		<p>Comme pour les virus de la</p>
--------------------------------------	------------------------------------	---	--	-----------------------------------

<p>de pomme de terre</p>	<p><i>Virus (PLRV)</i></p>	<p>et friables, prenant parfois une couleur brune. L'enroulement démarre au niveau des feuilles inférieures et remonte le long de la plante. Les plantes sont rabougries et peuvent être cachées sous le couvert végétal de plantes saines adjacentes. Une nécrose réseau peut se développer, sous forme de nécroses brunes dans le tissu vasculaire. Dans le cas des variétés sensibles, cela peut se produire près une infection primaire ou secondaire</p>		<p>mosaïque, mais les insecticides sont plus efficaces. Veiller à éviter de créer, par une trop grande utilisation, une résistance aux insecticides.</p>
<p>Rattle</p>	<p><i>Tobacco rattle virus (TRV)</i></p>	<p>Plante: marbrure et déformation des feuilles et retard de croissance de tout ou partie des tiges</p> <p>Tubercule: arcs bruns et bouchés et boutons dans la chair du tubercule, parfois visibles à la surface de la peau</p>	 	<p>Utiliser le blé, l'orge et l'avoine (hôtes des trichodorides, mais pas du virus du Rattle) dans la rotation des pommes de terre, en conjugaison avec un bon désherbage. Éviter une irrigation excessive au moment de la formation des tubercules.</p>

D : Principaux insectes ravageurs

<p>Teigne guatémaltèque de la pomme de terre</p>	<p><i>Tecia solanivora</i></p>	<p>Les larves de la teigne de la pomme de terre se nourrissent sur des plantes en croissance et sur des tubercules de pomme de terre.</p> <p>Plante : Les larves se faufilent à l'intérieur des feuilles et mangent le tissu intérieur, surtout celui des nervures principales, mais ces dégâts n'ont généralement pas d'importance sur le plan économique.</p> <p>Tubercule : Au moment de la récolte, les tubercules atteints peuvent montrer peu de signes visibles d'infestation alors qu'ils abritent des œufs ou de jeunes larves. Comme les larves se nourrissent sur les tubercules, les dégâts deviennent importants, prenant la forme de galeries creusées juste sous la peau ou dans la chair du tubercule. Les tubercules atteints peuvent subir une déshydratation excessive à travers les lésions et se flétrir. Une infection</p>	 	<p>Utiliser des plants de pomme de terre sains et appliquer une stratégie de lutte intégrée.</p>
---	--------------------------------	--	--	--

		secondaire par des pathogènes fongiques peut aussi entraîner la pourriture du tubercule.		
Doryphore	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Les doryphores et leurs larves se nourrissent sur les feuilles et parfois sur les tiges des plantes, ce qui produit des trous irréguliers sur les folioles. Les plantes peuvent perdre une grande partie, voire la totalité, de leurs feuilles en cas de grave infestation des cultures. À tous les stades où ils sont mobiles, les doryphores se nourrissent du feuillage de la plante	 	Utiliser des insecticides et pratiquer de longues périodes de rotation

Chapitre 2

*Le Rhizoctone brune de la
pomme de terre*



1. Le rhizoctone de la pomme de terre

Le rhizoctone brun c'est une maladie causée par un champignon nommé *Rhizoctonia solani*. Il se présente comme des croutes brunes (sclérotés), pouvant se détacher à l'ongle, sur la peau du tubercule (Messiaen, 2009). Le rhizoctone cause différents dommages aux pommes de terre, à différents stades du cycle de végétation. Le pathogène pourrait également être présent sur d'autres cultures comme le maïs, la betterave, les crucifères, etc. (BASF, 2019).

Cette maladie est répandue partout où l'on cultive la pomme de terre. Elle est facilement identifiable par les croûtes noires (variole) qu'on trouve sur la peau du tubercule et qui ne s'enlèvent pas au lavage. Cette maladie a pris de l'importance ces dernières années à cause de la tendance à consommer des pommes de terre avec la pelure. La plupart des souches de *Rhizoctonia* qui attaquent la pomme de terre sont en grande partie spécifiques à cette culture. (Richard, 1994). Le rhizoctone se manifeste particulièrement sur les organes qui sont en contact avec le sol froid et humide et peut causer de graves dommages. Les plus grands dommages surviennent principalement au printemps, durant les semaines suivant la plantation. Les symptômes apparaissent en foyer ou en rangée au champ et peuvent être présents du début mai jusqu'à la mi-octobre. Les rendements sont surtout affectés par la qualité des tubercules. Il n'y a aucun développement supplémentaire du rhizoctone en entrepôt. (Banks, 2004).

2. Biologie de *Rhizoctonia solani*

Le *Rhizoctonia solani* a été décrit pour la première fois par Julius Kühn en 1858 (Anderson, 1982). Ce champignon constitue un ensemble d'espèces comprenant des groupes génétiquement distincts, appelés groupes d'anastomose. *Rhizoctonia solani* est un champignon basidiomycète qui ne produit pas de spores asexuées (appelées conidies) et ne produira qu'occasionnellement le champignon produisant des spores sexuelles (basidiospores). Dans la nature, *R. solani* se reproduit de manière asexuée et existe principalement sous forme de mycélium végétatif et / ou de sclérotés. Contrairement à de nombreux champignons basidiomycètes, les basidiospores ne sont pas enfermées dans un corps ou un champignon charnu et fructifère. Les structures de fructification sexuelle et les basidiospores (c.-à-d. Téléomorphe) ont été observées et décrites en détail pour la première fois par Prillieux et Delacroix en 1891. Le stade sexuel de *R. solani* a subi plusieurs changements de nom depuis 1891, mais est maintenant connu sous le nom de *Thanatephorus cucumeris*. (Ceresini, 1999).

L'un des principaux agents pathogène fongique qui attaque de nombreuses plantes cultivées dont la tomate, la pomme de terre, la betterave sucrière, le maïs...

Ces espèces sont responsables du rhizoctone brun. Il est présent dans presque tous les sols car il possède de nombreuses plantes-hôtes et survie dans les résidus de récolte et aussi parce que ses sclérotas sont facilement disséminés par les tubercules. Il se développe sous une gamme importante de température et provoque des dégâts considérables lors de la levée particulièrement lorsque les conditions ne sont pas favorables à une levée rapide, comme c'est le cas dans les sols froids et humide (Pérou, 1990).

3. Caractéristique taxonomique et morphologique

3.1. Position systématique

Rhizoctonia solani est classé selon : (Oyetunde, Bradley., 2018) comme suit:

Règne.....Fungi
Division.....Basidiomycota
Classe.....Basidiomycetes
Sous-classe.....Agaricomycetidae
Ordre.....Cantharellales
Famille.....Ceratobasidiaceae
Genre.....*Rhizoctonia*
Espèce.....*Rhizoctonia solani*

Rhizoctonia solani Kühn. Est subdivisé sur la base de la fusion des hyphes en 13 groupes d'anastomose (AG 1-AG 13). Le groupe d'anastomose 3 (AG 3) est principalement associé aux cultures de solanacées et sous-groupe en AG 3-PT sur pomme de terre, AG 3-TB du tabac et AG 3-TM sur les tomates. AG 3-PT a été considéré comme le GA prédominant le plus souvent associé aux maladies de la pomme de terre. En plus de *R. solani* AG 3-PT, plusieurs autres AG, AG 2-1; AG 4; AG 5; AG 7; et AG 8 ont été signalés pathogènes de la pomme de terre bien qu'à des fréquences plus basses (Muzhinji *et al.*, 2016).

Selon **Ceresini, 2012**. Le groupe GA-3PT affecte les tiges des plantes de la famille des solanacées, et GA-2-1 a provoqué des chancres dans les tiges de semis de *Solanum tuberosum*.

Le thalle est de couleur blanc à marron foncé à croissance rapide, de segments 100-250 μm x 7-12 μm . Le mycélium sclérotique et moniliforme de diamètre 30 μm . On trouve de fréquentes constriction au niveau des septa et des ramifications. Les ramifications forment des angles de 45° à 90°, et sont souvent coenocytiques (**Fig. 16 et17**) (**Bouladjeraf, 2017**) .

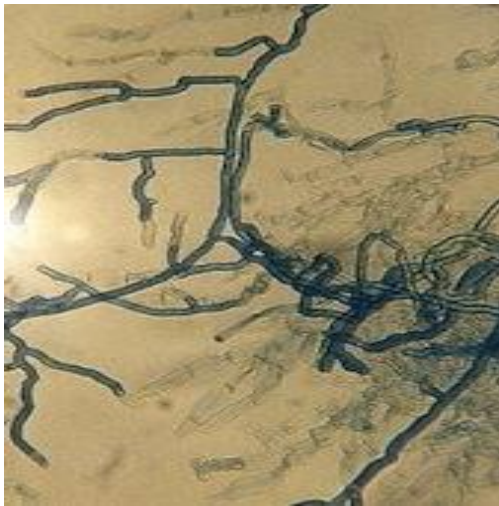


Figure 16 : Hyphes de *R. solani*
(**Bouladjeraf, 2017**)

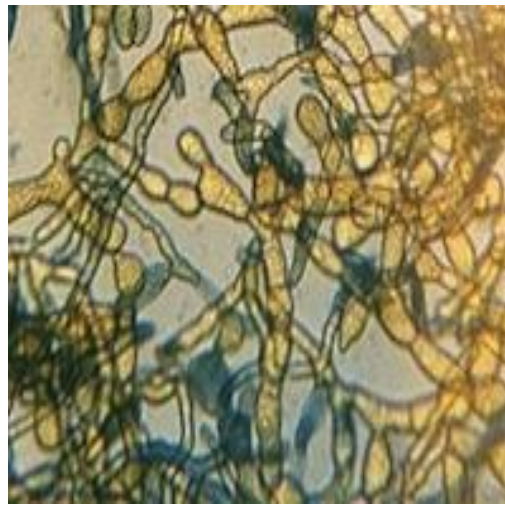


Figure 17: Mycélium sclérotique
(**Bouladjeraf, 2017**)

4. Conditions favorables à son développement

Le Rhizoctonia s'attaque principalement aux plantes qui subissent des stress ou qui présentent des blessures. Les Conditions de sol fraîches et humides au moment du semis (15 et 18 °C), sont favorables pour sa croissance. Les températures de (20-32 °C), durant la saison de croissance des plantes matures sont nécessaires pour sa croissance. L'Humidité élevé du sol est également un facteur favorable. Et aussi la mauvaise circulation de l'air à l'intérieur du feuillage des plants. Les feuillages qui touche le sol, favorise son apparition. L'éclaboussure d'eau lorsque la culture de plantes en pots se fait sur un sol contaminé de terre. Selon les résultats d'une étude récente, la Transmission de *Rhizoctonia* peut se faire par les larves de sciarides (*Bradysia spp.*) et de mouches du rivage (*Scatella stagnalis*) (**Brigitte, 2019**). Les

facteurs qui retardent la levée des plantes comme les plantations profondes ou précoce et avec des plants non germé ou non réchauffé. Les rotations courtes sont un facteur aggravant les attaques, de même qu'un long délai entre le défanage et la récolte. (Guillaume *et al.*, 2012).

5. Les symptômes du rhizoctone brun

Rhizoctonia cause des dommages particulièrement graves lorsque le sol est froid et humide et lorsque des cultures de pommes de terre se suivent de trop près dans la rotation. Le principal dommage est la dépréciation des tubercules. Le champignon cause toute une gamme de symptômes chez la pomme de terre (Richard, 1994), tels que :

5.1. Symptômes en végétation

Les germes : Les premier symptômes se manifestent sur les germes qui montrent des lésions de couleur marron-rougeâtre à noire et des taches incolores déprimées. Ces lésions provoquent le plus souvent la mort des extrémités des germes. (Banville, 1989). Ces lésions sur les extrémités des germes empêchent ou retardent la levée (Fig. 18).



Figure 18 : Les germes en germination peuvent être tués par *R. solani* avant qu'ils ne sortent du sol. (Wharton *et al.*, 2007).

Les tiges et les stolons : Des chancres bruns (nécroses), en légère dépression, de formes et dimension variable, affectent les stolons et les tiges, ce qui provoque une tubérisation

aérienne, un flétrissement et la mort de la plante. Les stolons entourés par le chancre peuvent ne pas tubériser (Fig.19 et 20) (Pérou, 1990).



Figure 19: Lésions brunes et enfoncées sur les tiges et les stolons causées par *R. solani*. (Wharton *et al.*, 2007).



Figure 20: Petits tubercules aériens formés en surface des stolons et des tiges souterraines (Wharton *et al.*, 2007).

Feuille : jaunissement de la marge, rosissement à rougissement du limbe, enroulement et flétrissement. Présence de petits tubercules aériens à l'aisselle des feuilles basales. Des Taches irrégulières brunes un peu partout sur les feuilles et la tige (BASF, 2019)

5.2. Symptômes sur les tubercules

Tubercule: la formation des sclérotés bruns à noirs sur la surface des tubercules fils (Banville, 1989). Les sclérotés de dimensions variables se présentent sous forme de taches plus ou moins grandes ou sous forme de nodules saillants formés adhérents à la surface du tubercule (Fig.21) (Wharton *et al.*, 2007) .

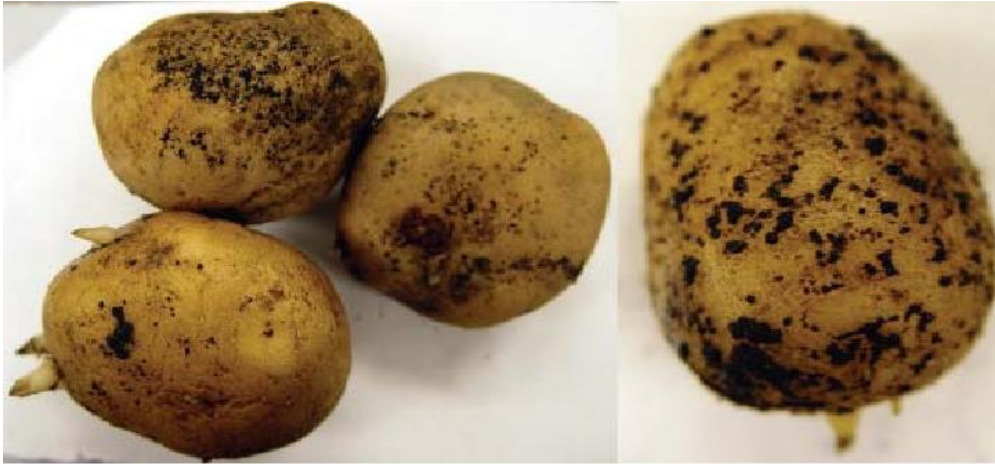


Figure 21 : Sclérotés de *Rhizoctonia solani* à la surface des tubercules. (Wharton *et al.*, 2007)

6. Cycle évolutif

Rhizoctonia solani survit entre deux saisons de croissance sous forme de sclérotés (croûte noire) sur les tubercules et dans le sol, ou sous forme de mycélium dans les résidus de culture. Les sclérotés germent et le mycélium infecte les germes de pomme de terre, les racines, les stolons et les tubercules tout au long de la saison de croissance. La formation de sclérotés sur les tubercules fils dépend de la sénescence de la plante-mère et de la maturité des tubercules fils. Le *Rhizoctonia* peut survivre en saprophyte pendant de longues périodes dans les champs de pommes de terre en colonisant des déchets végétaux autres que ceux de la pomme de terre (Fig. 22) (Richard, 1994).

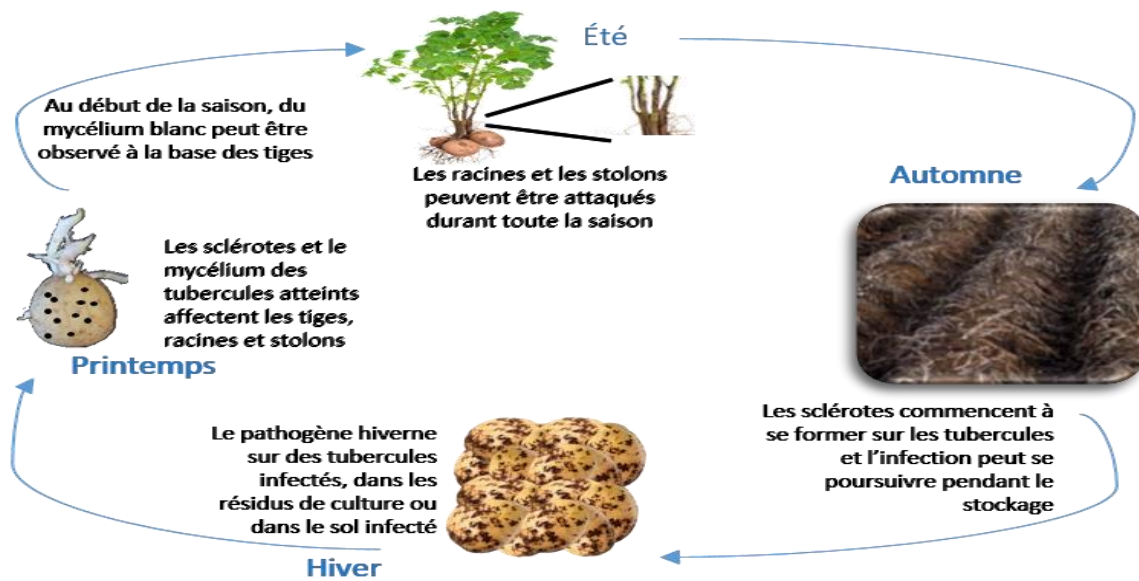


Figure 22: Le cycle de développement du rhizoctone brun sur la pomme de terre (APPI.2003)

7. Epidémiologie de *Rhizoctonia solani*

L'épidémie se passe en trois temps:

- 1) des chancres précoces sur tiges et stolons avant la levée des plantes et leur incidence restent élevée tout au long de la période de végétation
- 2) des altérations liégeuses apparaissent sur les tubercules dès la tubérisation
- 3) des sclérotés sur tubercules se forment en fin de végétation.

Après défanage, L'incidence et la gravité des sclérotés sur tubercule évoluent très rapidement, En effet, plus on allonge le délai défanage-récolte, plus les tubercules sont gravement atteints. (Gaucher *et al.*, 2014).

Différents stades épidémiologique:

- **La Conservation** : persiste plusieurs années dans le sol à l'état de saprophyte en absence d'hôtes sensibles, sous la forme de mycélium et de pseudo-sclérotés présents dans la matière organique et les débris végétaux.

- **Sources d'inoculum** : contaminations par l'intermédiaire du mycélium déjà présent dans le sol ou issu des sclérotés. Elle peut également avoir lieu via des basidiospores issues de sa reproduction sexuée.
- **Infection** : pénétration des tissus directement à travers la cuticule ou par l'intermédiaire de blessures diverses. Envahissement inter- et intracellulaire rapide des tissus par des enzymes lytiques.
- **Développement**, sporulation : formation de mycélium cheminant sur les tissus et sur le sol, et gagnant d'autres organes sains. Les sclérotés, en mélange avec des particules de sol souillant différents matériaux, contribuent également à sa dissémination. Production de basidiospores formées sur des basides présentes à la surface de l'hyménium.
- **Dissémination** : par les basidiospores transportées par le vent et les courants d'air sur des distances assez importantes. Transmission aussi assurée par la terre contaminée par le mycélium et les sclérotés, le travail du sol, les outils et les engins aratoires souillés, les plants produits dans des pépinières infestées (**Blancard, 2019**).

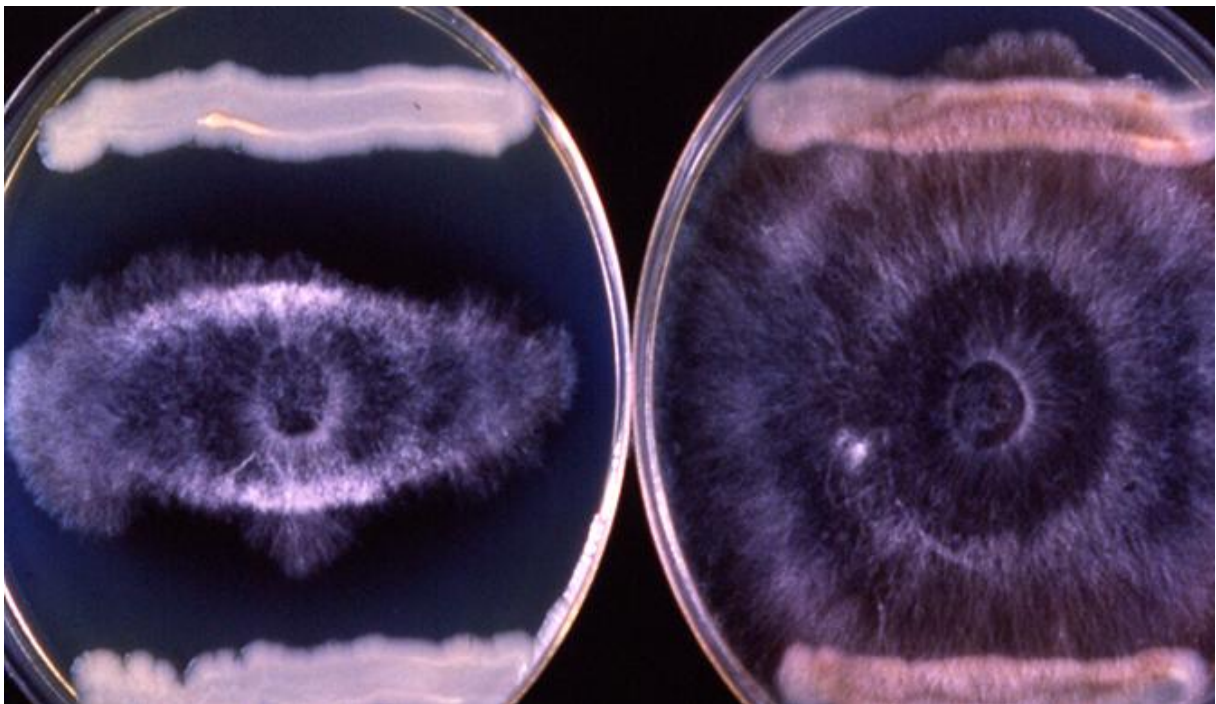
8. La protection contre le rhizoctone brun de la pomme de terre

Même s'il est difficile d'obtenir un contrôle complet de la maladie, l'utilisation d'une combinaison de pratiques culturales et de traitements phytosanitaires en limitera grandement l'importance. Comme pour plusieurs maladies de sol, une approche de lutte intégrée doit être utilisée pour réprimer le rhizoctone.

- Utiliser des semences certifiées
- Plantant dans des sols relativement chauds (15,5°C ou 60°C), quelques passages de herse (au moins 2) aideront grandement à réchauffer les sols plus rapidement et surtout à les rendre plus meubles ; réchauffant les semences correctement avant la mise en terre ; appliquant la technique de prégermination (**Boulet, 2016**).
- utiliser des tubercules bien germés.
- éviter une plantation précoce et en profondeur par temps froid.
- Pratiquer de longues périodes de rotation (**Kerr, 2014**).
- Utiliser un substrat sain et des plants de qualité.
- Désinfection du sol possible : fumigant, solarisation, biofongicides, etc...

- Mettre en place un paillage plastique afin de créer une barrière mécanique entre le sol et les organes végétaux.
- Tuteurer certaines productions et aérer au maximum la végétation.
- Eliminer les débris végétaux sains ou malades en cours et en fin de culture, ainsi que les mauvaises herbes hôtes potentiels susceptibles d'héberger ou de favoriser le développement et la conservation de ce champignon dans le sol (**Blancard, 2019**).
- limiter le délai entre le défanage et la récolte (3-4 semaines maxi) (**Guillaume, 2012**).

Chapitre 3
Lutte biologique
Et microorganismes
antagonistes de
Rhizoctonia solani



Malgré que les produits chimiques de synthèse aient montré leur efficacité, ils présentent cependant des effets nocifs potentiels sur la santé humaine et l'environnement. Les recherches dans ce domaine ce sont orientées ces dernières années vers des moyens de lutte non chimiques pour la gestion des phytopathogène. Le contrôle biologique est une stratégie pour réduire l'incidence ou la gravité des maladies par manipulation directe ou indirecte de microorganismes. Le principe peut être l'éradication ou la protection, en fonction des tactiques spécifiques impliquées dans la promotion du contrôle biologique.

1. La lutte biologique

Au début du XXème siècle l'appellation "lutte biologique" a été proposée pour désigner toute méthode phytosanitaire mettant en œuvre un organisme vivant. En 1919, Smith a défini la lutte biologique comme l'utilisation des ennemis naturels pour le contrôle des maladies phytopathogènes (**Driesche et Bellous, 1996**). C'est un moyen qui permet de se débarrasser des animaux et des végétaux nuisibles à l'homme, aux animaux domestiques et aux plantes, par l'emploi judicieux de leurs ennemis. Contrairement à la lutte chimique, le but ici n'est pas d'éliminer les ravageurs, mais de limiter l'effectif de leur population en dessous d'un seuil qui reste acceptable (**Faurie et al., 2003**).

La National Academy of Science des Etats-Unis d'Amérique donne une définition plus large de la lutte biologique: « toute action mettant en jeu des organismes en modifiant l'hôte y compris les méthodes culturales, qui permettent de diminuer, par voie directe ou indirecte, les dommages causées par un parasite » (**Corbaz, 1990**). Van Drische et Bellows la définit comme « un processus agissant au niveau des populations et par lequel la densité de la population d'une espèce est abaissée par l'effet d'une autre espèce qui agit par prédation, parasitisme, pathogénicité ou compétition » (**Bovin, 2001**).

1.1. Intérêt de la lutte biologique dans le contrôle des maladies phytopathogènes

Emmert et Handelsman (1999), affirment que la lutte biologique peut être aussi efficace dans le contrôle des maladies phytopathogènes que l'utilisation des fongicides chimiques. L'utilisation de produits chimiques comporte un risque pour l'environnement et l'homme. En revanche, la lutte biologique est considérée comme un moyen alternatif grâce à l'utilisation de plusieurs méthodes de travail par un seul antagoniste et sa capacité à s'adapter

au rhizosphère contribue au fait que la lutte biologique devient plus durable que les produits chimiques (Cook, 1993; Benbrook *et al.*, 1996).

La réussite de la lutte biologique nécessite l'application d'un agent de biocontrôle efficace. L'efficacité est notamment liée à la capacité de l'agent de lutte biologique à coloniser et à s'installer dans le milieu rhizosphérique des plantes (Singh *et al.*, 2003).

1.2. Mécanismes d'action d'un agent de lutte biologique

L'étude de ces mécanismes d'action est une étape importante dans le développement de la lutte biologique (Jijakli, 2003). 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 le parasitisme, la compétition, l'antibiose, et la production des sidérophores.

1.2.1. Parasitisme

Ce mécanisme de lutte consiste en une interaction directe entre deux microorganismes où les tissus vivants de l'un constituent une base nutritive pour l'autre (Helluy et Holmes, 2005). Il implique l'invasion des cellules de l'agent pathogène par le microorganisme antagoniste (Corbaz, 1990). D'après Valueva et Mosolor (2004), Les différents mécanismes des inhibiteurs d'enzymes protéolytiques impliqués dans la défense des plantes contre les attaques de microorganismes phytopathogènes parmi au L'agent antagoniste utilisera des enzymes lytiques tels que des glucanases, des chitinases et des lysozymes pour dégrader les parois de l'agent pathogène. Ont montré que les enzymes utilisées par les antagonistes ont souvent une activité en mélange ou en synergie avec les antibiotiques. Par exemple, il a été démontré que les hyphes de l'agent pathogène *Rhizoctonia solani* et les spores de l'agent pathogène *Cochliobolus sp.* Peuvent être perforées dans le sol par des mycobactéries du genre *Polyangium* et des amibes vampyrellides. Cette dégradation entraîne une diminution de la population des agents pathogènes.

1.2.2. 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. L'effet sélectif des exsudats racinaires sur la microflore serait le résultat de la compétition qui oppose des souches à croissance lente et des souches à croissance rapide, ces dernières sont particulièrement favorisées dans la rhizosphère (Alabouvette *et al.*, 2006). La compétition spatiale contribue aussi à la réduction des infections racinaires par les agents phytopathogènes. A l'origine, les microorganismes ayant la capacité de coloniser les racines

comme les bactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPB) protègent les racines et occupent les sites d'infection aux agents phytopathogènes (**Benítez et al., 2004**).

1.2.3. Antibiose

L'antibiose est le mode d'action le plus étudié chez les agents de lutte biologique. La sécrétion de substances antibiotiques par les microorganismes est un phénomène fréquent. Certains métabolites sont capables d'interférer avec la germination, la croissance mycélienne et/ou la sporulation des agents phytopathogènes. D'autres conduisent à la libération de composés cellulaires après que la perméabilité de la cellule est perturbée (**Jijakli, 2003**). Ces antibiotiques vont ralentir ou arrêter la croissance de l'agent pathogène. La fonte des semis du coton due à *Pythium ultimum* peut être combattue par un enrobage des semences avec la souche de *P. fluorescens Pf 5*. Cette souche produit un antibiotique, la polyulutérine. La fonte des semis est ainsi réduite de façon significative aussi bien par l'utilisation de ce *Pseudomonas* comme agent d'enrobage que par l'utilisation de l'antibiotique purifié (**Howell et Stipanovic, 1980**).

1.2.4. Production des sidérophores

Les sidérophores sont des molécules extracellulaires qui possèdent une grande affinité pour le fer ferrique (Fe^{3+}) qui présent dans le sol à faible concentration sous forme de $Fe(OH)_3$. Les champignons et toutes les bactéries aérobies et anaérobies facultatives produisent une grande variété de sidérophores. Ce dernier produits par *Bacillus subtilis* en séquestrant le fer ferrique au niveau de la rhizosphère peuvent causer l'inhibition des autres micro-organismes y compris les phytopathogènes dont l'affinité pour le fer est faible (**Jijakli, 2003**).

1.2.5. Exemple d'une stratégie de lutte biologique vis-à-vis de *Rhizoctonia solani*

Les travaux de **Nagwa M. Atef (2008)**, se placent dans le contexte du développement des produits biologiques à base de microorganismes. Ces derniers peuvent être utilisés comme bio pesticides pour contribuer à résoudre les problèmes posés par les maladies des plantes d'origine tellurique. Ces bio pesticides microbiens peuvent offrir une solution aux méfaits des pesticides chimiques. Leur dissémination facile, la diversité de spécificité de leur action et aussi leur faible persistance dans l'environnement, en font une solution très avantageuse. Ils sont aussi trop coûteux, comparativement aux solutions chimiques. Dans cette étude, l'évaluation de l'antagonisme de *T. harzianum* et *B. subtilis*, seules ou en combinaison, vis-à-vis de *R. solani* causant la pourriture des racines de semis de blé in vitro et en serre, a été évalué. Ces traitements ont été comparés à un fongicide synthétique tel que le carbomar. Les résultats ont montrés que le sol infesté de *R. solani* a considérablement réduit la biosynthèse

des acides aminés, d'azote total et de glucides solubles totaux des semis. Une diminution des pigments photosynthétiques (chlorophylle a et b et caroténoïdes) a été également observée. L'utilisation de le carbomar entraîne une augmentation significative des glucides solubles totaux, d'azote soluble total et d'acides aminés par rapport au témoin avec une inhibition de la biomasse de *R. solani*. Cependant, ce fongicide en plus d'être coûteux, il implique des risques pour l'environnement. En plus Il n'est pas totalement efficace et peut entraîner l'apparition de nouvelles souches les agents pathogènes. Les deux microorganismes testés dans cette étude, à savoir, *B. subtilis* et *T. harzianum* réduisent considérablement la pourriture des racines causée par *R. solani*. Ces agents biologiques sont très efficaces pour augmenter les pigments photosynthétiques. Cette efficacité de l'appareil photosynthétique est étroitement associée à la production de glucides, acides aminés et azote total dans le sol.

Les mélanges des souches montrent une synergie importante et sont totalement complémentaire.

Il a été prouvé aussi dans cette étude, que deux groupes d'antibiotiques ont été produits par *B. subtilis*. Le premier groupe est composé de plusieurs antibactériens et le second est composé de deux composés antifongiques. Un de ces composés antifongiques est connu pour être la bacillomycine. L'autre antibiotique produit par *B. subtilis* est la fengymycine qui s'est révélé moins toxique pour les plantes d'essai avec une protection plus importante contre maladie de *Rhizoctonia*.

T. harzianum est connu pour produire des concentrations relativement élevées d'enzymes dégradant la paroi cellulaire sous forme de bêta - 1, 3 – glucanases ainsi que d'autres enzymes chitinolytiques. Dans ces investigations plusieurs enzymes ont été purifiées et caractérisées. La capacité à inhiber la germination des spores et l'allongement des hyphes du pathogène fongique, ont été montrés in vitro.

2. Les microorganismes de lutte biologique les plus utilisés contre *Rhizoctonia solani*

Plusieurs microorganismes ont été utilisés dans le contrôle des maladies phytopathogènes (**Errakhi, 2008**). Parmi les champignons les plus utilisés, nous pouvons citer :

2.1. *Trichoderma*, *Gliocladium spp* et *Aspergillus spp*

Les champignons du genre *Trichoderma* sont connus depuis au moins l'année 1920 pour leur capacité à agir comme agents de lutte biologique efficace contre les agents phytopathogènes. Jusqu'à récemment, les principaux mécanismes de contrôle étaient supposés être ceux qui agissent principalement sur les agents pathogènes et comprenaient le

mycoparasitisme, l'antibiose et la concurrence pour les ressources et l'espace. On démontre que les effets de *Trichoderma* sur les plantes, y compris la résistance systémique ou localisée induite, est également très importante. *Trichoderma spp* commencent à être utilisés en quantités raisonnablement importantes en agriculture végétale, à la fois pour le contrôle des maladies et l'augmentation des rendements. (Melo et Faull, 2000 ; Harman, 2006 ; Paul et Masih, 2006).

L'espèce *Trichoderma harzianum* inhibe le développement de *Rhizoctonia solani* par la production d'enzymes hydrolytiques de la paroi cellulaire telles que β -glucosidase (Melo et Faull, 2000). *T. harzianum* a été examinée dans les essais de serre chaude. Il peut coloniser toutes les parties du système racinaire et persister pendant une longue période où il est appliqué dans le traitement de la graine dans la lutte contre *Rhizoctonia solani* (Paulitz et Belanger, 2001). Le mode d'action de *T. harzianum* est la compétition pour les nutriments par la production d'enzymes lytiques empêchant la germination des conidies du pathogène (Paulitz et Belanger, 2001). Il possède la résistance innée à la plupart des produits chimiques agricoles (Harman, 2006). La plupart des souches de *Trichoderma* pour la lutte biologique, ont de susceptibilités ou de résistance à une gamme de pesticides (Harman, 2006). D'ailleurs, l'utilisation des produits chimiques pour le biocontrôle des parasites est un souci croissant aux écologistes (Melo et Faull, 2000). Ainsi, le genre *Trichoderma* ont été utilisés comme agents de lutte biologique contre un large spectre de pathogènes aussi bien telluriques (Camporota 1985; Davet 1986; Ouazzani-Touhami *et al.*, 1994) que foliaires (Hmouni *et al.*, 1999; Mouria *et al.*, 1997).

Les travaux de Baker (1988) et de Lynch *et al.* (1991a), ont montré que certaines souches du *Trichoderma* semblaient exercer une action stimulatrice sur la croissance de certaines plantes. En effet, Lynch *et al.* (1991a), ont étudié l'effet du *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et son aptitude à lutter contre le *Rhizoctonia solani Kühn*. Ils ont aussi démontré l'effet de certaines souches du *Trichoderma* sur la croissance de la laitue et la germination des graines en l'absence de tout agent pathogène. Cependant, cette découverte n'a pas donné lieu à d'autres recherches. *Trichoderma harzianum T-203* induit des changements structuraux et chimiques des parois cellulaires des plantes ce qui augmente leur résistance aux infections par les phytopathogènes (Brimner et Boland, 2003).

Ces dernières années, *Rhizoctonia solani* est devenu, une véritable menace de la culture de pomme de terre. Un travail réalisé sur ce même agent pathogène a montré l'action de certains champignons dans le biocontrôle de *Rhizoctonia solani*. Dans ce travail, l'application de *Trichoderma spp.* *Gliocladium spp* et *Aspergillus spp* en double couche, sur

Rhizoctonia solani a été testée. Leurs filtrats de culture, isolés à partir de ces deux champignons cultivés sur des composts de racines de *Solanaceae* et de la rhizosphère de la pomme de terre, ont été également suivis in vitro contre *R. solani*. Les effets inhibiteurs de ces champignons, ont été évalué sur le pathogène.

Dans ces travaux, les intervalles des pourcentages d'inhibition assurés par ces espèces fongiques sont de 27 et 33%, pour *Trichoderma* et 12.34 et 12.59% pour *Gliocladium* et 7 et 12% pour *Aspergillus*. Les observations microscopiques réalisées au niveau des zones de confrontations, montrent que les espèces *Trichoderma* agissent contre *R. solani* par mycoparasitisme et compétition tandis que le mode d'action des espèces *Gliocladium* a varié entre mycoparasitisme et antibiose tout comme les espèces *Aspergillus*.

Les filtrats de culture des agents antagonistes utilisés montrent que les espèces *Gliocladium* assurent le meilleur potentiel inhibiteur sur *R. solani* (Fig. 23, 24 et 25) (Ben Salem et al., 2013).

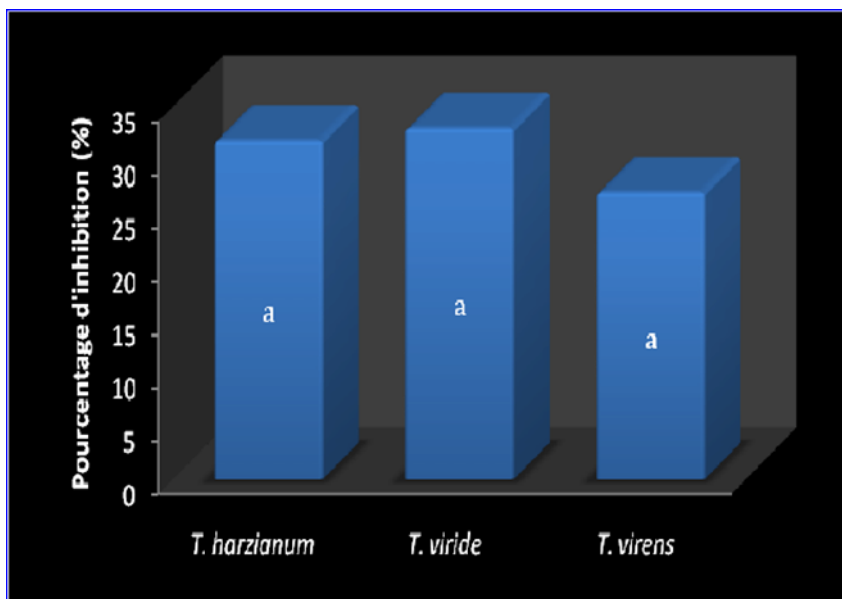


Figure 23: Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de *Rhizoctonia solani* par *Trichoderma* spp noté après 48 h d'incubation à 25°C (Ben Salem et al., 2013).

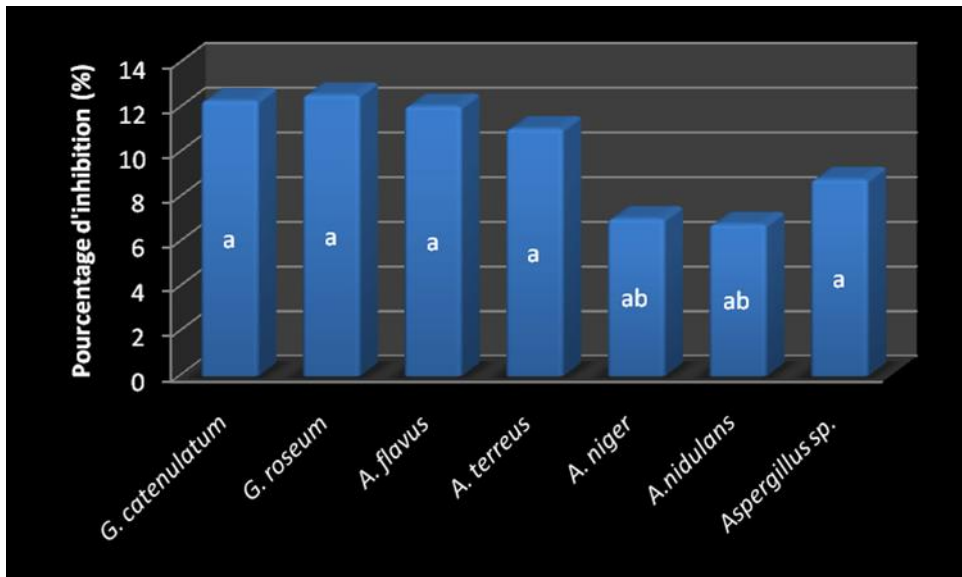


Figure 24 : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne de *Rhizoctonia solani* par *Gliocladium spp* et *Aspergillus spp* noté après 72 h d'incubation à 25°C (**Ben Salem et al., 2013**).

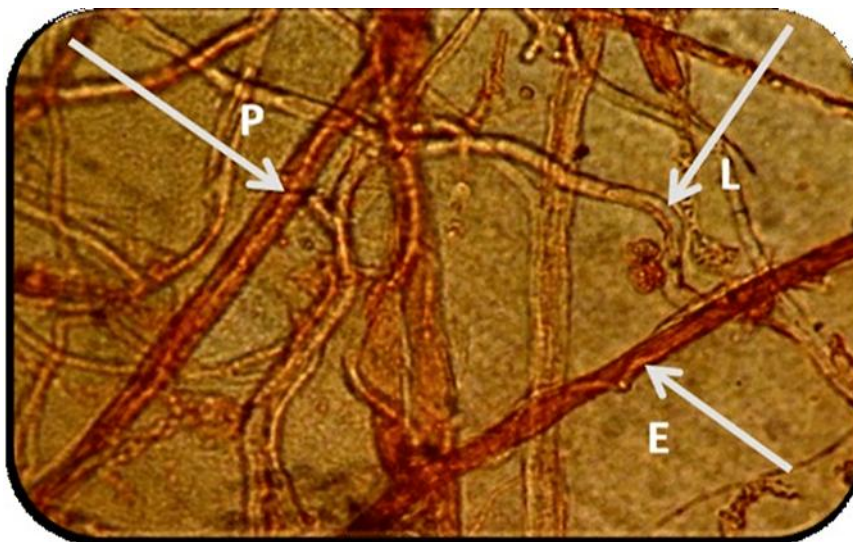


Figure 25 : Observation microscopique de l'interaction des hyphes des antagonistes testés avec celles du pathogène (**Ben Salem et al., 2013**).

P : Pénétration du mycélium de l'antagoniste à l'intérieur de celui de *Rhizoctonia solani*.

L : Lyse du mycélium de *R. solani*.

E : Enroulement du mycélium de l'antagoniste autour de celui de *R. solani*.

Après les observations microscopiques réalisées au niveau de la zone de confrontation de *R. solani* avec *G. catenulatum*, Il a été démontré une lyse mycélienne du champignon.

Dans le cas de la double culture avec *G. roseum*, un mycoparasitisme et une pénétration du mycélium du pathogène ont été remarqués. Les différentes espèces d'*Aspergillus* ont également montré différents mécanismes de bio-contrôle. Par l'observation de zone d'antibiose claire au niveau de la zone de confrontation. Au niveau de cette zone, il y a eu une coloration du fond des colonies du pathogène, indiquant la sécrétion des métabolites inhibiteurs et diffusibles dans le milieu de culture.

Les trois espèces de *Trichoderma* testées ont une activité basée essentiellement sur leur pouvoir compétitif et mycoparasitaire. Les espèces de *Gliocladium* et *Aspergillus* ont montré cependant, un faible pouvoir compétitif, avec une importante sécrétion de métabolites bioactifs.

Les travaux de **Singh et al. (2014)**, ont montré que deux souches de *T. harzianum* (*Trichoderma harzianum* BHU-51 et *Trichoderma harzianum* BHU-105) présentent un excellent pouvoir antagoniste contre *R. solani*. Le traitement des semences avec ces souches a non seulement favorisé leur germination, mais a aussi réduit de manière significative l'incidence de la maladie (fonte des semis) par rapport aux semences non traitées. L'effet était encore plus marqué lorsque ces agents de lutte biologique étaient utilisés en combinaison.

Le pouvoir antifongique des filtrats de culture et des extraits aqueux et d'acétate d'éthyle des *Trichoderma spp.* (*T.harzianum*, *T.viride* et *T.virens*) et des *Gliocladium spp.* (*G.catenulatum* et *G.roseum*) contre *Rhizoctonia solani*, a été évaluée in vitro et sur tranches de tubercules de pomme de terre. L'activité antifongique des filtrats de culture des antagonistes testés avarie selon l'agent antagoniste et l'âge des cultures liquides. La plus importante réduction de la croissance mycélienne a été obtenue avec les filtrats de *G.roseum* avec 53%. Pour *Trichoderma spp.*, les réductions de la croissance in vitro de *R.solani* varient entre 4% (*T.viride*) et 40% (*T.harzianum*). Ces antagonistes ont également induit des réductions significatives de la croissance mycélienne du pathogène à la surface des tranches de tubercules de pomme de terre inoculées et traitées, comparées aux témoins inoculées et non traitées. Les *Gliocladium spp.* Ont réduit de 58% (*G.catenulatum*) et 78% (*G.roseum*) la colonisation de la surfaces des tranches par le pathogène, ces réductions ont été de 45 et 60% sous l'effet respectivement de *T.virens* et *T.harzianum*. Appliqués Sur tranches de tubercules, *G.catenulatum* a montré une meilleure efficacité (63%). La plus importante réduction obtenue in vitro était de 36% (*T.harzianum*) comparée à un maximum de 31% atteint avec *G.catenulatum*. Les espèces de *Trichoderma* ont limité de 83% la croissance du pathogène, un maximum de 73% a été noté avec les espèces de *Gliocladium* (**Ben Salem et al., 2013**).

D'après les investigations d'**Erkol Demirci, Cafer Eken et Elif Dane (2009)**, l'effet antagoniste d'un autre champignon (*Verticillium biguttatum*) provenant de sclérotés de *R. solani* sur ce phytopathogène de la pomme de terre a été démontré. Les résultats ont montré que les isolats de *V. biguttatum* inhibaient la croissance du mycélium de *R. solani* par antibiose. Des zones d'inhibition indiquent l'effet fongicide de *V. biguttatum*. L'antifongique secrété a été identifié comme étant l'hydroxy-méthyl-phénols. Des observations microscopiques indiquent clairement le mode d'action de ce champignon. Après l'enroulement autour des hyphes de *R. solani*, les hyphes de *V. biguttatum* pénètrent dans les parois du phytopathogènes. Selon les auteurs, plusieurs enzymes sont responsables de cette dissolution de la paroi de *R. solani* et la pénétration dans les cellules. Il s'agit de la chitinases, de la β -1,3-glucanase et des protéases, conduisant à la mort du phytopathogènes de la pomme de terre. L'inoculation des tubercules de pomme de terre infestés par une suspension de conidies et des fragments d'hyphes de *V. biguttatum* a significative réduit la gravité de la maladie de *R. solani*, aussi bien dans les expériences en pots, qu'en chambre de croissance. Ces résultats sont d'après les auteurs très prometteurs. L'application de *V. biguttatum* sur les tubercules est plus efficace que n'importe quelles autres applications.

2.2. *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas fluorescens*

Quelques auteurs ont montré l'efficacité des agents de lutte biologique dans la répression du *R. solani*. **Mezeal (2014)** ils rapportent dans leurs travaux, le potentiel de *Pseudomonas fluorescens* et *Bacillus subtilis*, dans la réduction de l'incidence et de la gravité des fontes des semis causées par *R. solani*. Ces agents antagonistes agissent efficacement seuls, ou combinés. *Pseudomonas fluorescens* et *Bacillus subtilis* ont réduit considérablement la fonte de semis des plantules jusqu'à 10,8% et 17,1% respectivement. D'après les études de **Castillo et al. (2013)** et **Santoyo et al. (2012)**, les deux souches bactériennes exprimeraient leur antagonisme par la production de substances antibiotiques qui inhiberaient le développement du *R. solani*. De plus, quand ces agents antagonistes agissent en combinaison, ils améliorent l'efficacité et deviennent plus actifs lorsqu'ils sont utilisés individuellement.

Solanki et al. (2012), ont montré le rôle des enzymes hydrolytiques dans la dégradation de la paroi cellulaire de *R. solani*. Ils ont mis en évidence quelques enzymes produites par des *Bacillus* spp. En utilisant les mycéliums de l'agent pathogène comme source de carbone, ils ont pu détecter plusieurs activités enzymatiques qui provoqueraient l'inhibition de l'agent pathogène.

D'après les travaux de **Grosch (2005)**, sur l'antagonisme de 3 isolats bactériens contre *Rhizoctonia solani*. Ce champignons redoutable entraîne des pertes de productivité de plusieurs culture en Europe notamment la pomme de terre et même de la laitue. Ce chercheur a travaillé pour développer une stratégie de bio-contrôle. Les 3 souches de bactéries sont des ecto et endophytes associées à la pomme de terre. Il s'agit de *Pseudomonas fluorescens* (B1), *Pseudomonas fluorescens* (B2) et *Serratia plymuthica* (B4) qui a été évaluées contre *R. solani*. Ces travaux ont été menés en chambre de culture et sur champ. Dans les expériences en chambre de culture, les 3 souches ont significativement arrêté l'effet de la maladie causée par *R. solani* chez les pousses de pommes de terre. La souche B1 a cependant présenté l'efficacité la plus élevée sur la pomme de terre avec un pourcentage de 52 % d'activité antagoniste. Dans des conditions de champs, la maladie a diminué significativement chez 2 cultures. Le meilleur effet supprimeur de la maladie de la pomme de terre, fut atteint par la bactérie B1 avec 37 %, suivi par la B2 (33 %) et ensuite par la bactérie B4 (31 %). Le rendement de tubercules commercialisables s'est accru jusqu'à 12 % (avec la bactérie B1), 17 % (avec la B4) et 6 % (avec la B2). Les résultats ont été comparés avec des témoins cultivés sans agent antagoniste. Ces témoins ont présentés des effets très sensibles de la maladie causée par *R. solani*.

2.3. Les Actinobactéries

Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuses, connues pour leur capacité à produire de nombreux métabolites ayant des structures chimiques et des activités biologiques très diverses (**Ouhdouch et al., 2001**). La production des métabolites antibiotiques ou antifongiques est importante pour la lutte contre les microorganismes phytopathogènes (**Schottel et al., 2001 ; Raaijmakers et al., 2002 ; El-Tarabilya et Sivasithamparam, 2006**). Cette production permet aux agents antagonistes d'inhiber les agents phytopathogènes et de coloniser l'espace rhizosphérique (**Peter et al., 2003**). Plusieurs études se sont intéressées aux rôles que pourrait jouer les actinomycètes dans la suppression des phytopathogènes. Le premier produit de lutte biologique commercialisé et mis sur le marché mondial était à base d'actinomycètes, fabriqué à partir de *Streptomyces griseoviridis* pour contrôler les agents phytopathogènes comme le *Botrytis* et le *Fusarium* (**Copping et Mens, 2000**).

Les actinomycètes provenant de la rhizosphère peuvent inhiber efficacement le processus de contamination ainsi que la prolifération des champignons (**Rakotoarimanga et**

al., 2014). Ainsi, les actinomycètes peuvent agir par différents mécanismes d'action comme l'antibiose, la compétition nutritionnelle ou spatiale ou encore le parasitisme (Errakhi, 2008).

Les *Streptomyces* sont les meilleurs candidats pour la production des métabolites secondaires biologiquement actifs. Ce genre bactérien est à l'origine d'environ 70 % des molécules antibiotiques utilisés en médecine et 60 % des antifongiques utilisés en agriculture. Plusieurs travaux ont été menés pour augmenter la production de métabolites d'intérêt à partir des souches appartenant à ce genre bactérien. Il a été démontré qu'il y a une influence majeure des conditions de culture de la bactérie productrice sur la production des métabolites recherchés (Belabed, 2014). La plupart des études ont utilisé des streptomycètes comme agents potentiels de lutte biologique contre les champignons pathogènes (Xiao *et al.*, 2002). Parmi les actinomycètes utilisés en biocontrôle, les *Streptomyces Cacaoi var asoensis* qui produisent l'antibiotique Polyoxine contre *Rhizoctonia solani* qui inhibe la biosynthèse de la paroi cellulaire (chitine) (Copping, 2000). Des produits de lutte biologique commerciaux contenant des cellules vivantes de *Streptomyces* comme ingrédients actifs sont disponibles pour les agriculteurs (Mycostop, Actinovate et Actino-Iron) (Crawford *et al.*, 2005). Ces substances sont inactives sur les bactéries mais offrent un spectre antifongique caractéristique.

Les travaux récents de Malviya *et al.* (2018), prouvent le potentiel de certaines espèces de *Streptomyces* à survivre aux incendies et de conserver leur potentiel de réduction ou d'élimination du champignon phytopathogène étudié. Ces isolats robustes s'avèrent être les agents de lutte biologique potentiels pour les applications sur terrain. D'autres études sont nécessaires afin de déterminer la nature des métabolites produits par ces espèces de *Streptomyces* et de déterminer leur mécanisme d'action.

Les souches de *Streptomyces sp* NEA55 et *Streptomyces cavourensis* NEA5 isolées de parcelles cuites (incendiés) cultivées par des plantes par technique itinérante en Inde. Dans ces études, les activités Chitinase et glucanase de ces bactéries ont été mises en évidence. En appliquant les tests sur plaque, les espèces ont montré également un fort antagonisme contre *Rhizoctonia solani*. *Streptomyces sp*. NEA55 a montré une inhibition de 54,83% contre *R. solani*. Alors que *S.cavourensis* NEA5 a montré une inhibition de l'ordre de 49,23% contre le même phytopathogène (Tab. 6).

Tableau 6 : Pourcentage d'inhibition in vitro des métabolites diffusibles et volatils produit par les espèces de *Streptomyces* sur la croissance de *Rhizoctonia solani* (Malviya *et al* ., 2018).

Champignons de test pathogènes	% Inhibition de la croissance fongique par <i>Streptomyces</i> spp. après 7 jours d'incubation			
	<i>Streptomyces cavourensis</i> NEA5		<i>Streptomyces</i> sp NEA55	
<i>Rhizoctonia solani</i>	51,61	49,23	54,83	50.07

L'activité antifongique des espèces de *Streptomyces*, apparait sur la lyse de la paroi hyphale du champignon *R. solani*. L'inhibition de la croissance de ce champignon pathogène testés a continué d'augmenter avec le temps d'incubation. Une zone d'inhibition sous l'aspect d'un halo clair et d'un anneau de sporulation dense ont été observés autour de la croissance fongique. Aucun contact physique n'a été observé entre les espèces de *Streptomyces* et les champignons antagonisés. La formation de l'halo inhibiteur, suggère la présence de métabolites fongicides sécrétés par les *Streptomyces* (Fig. 26).

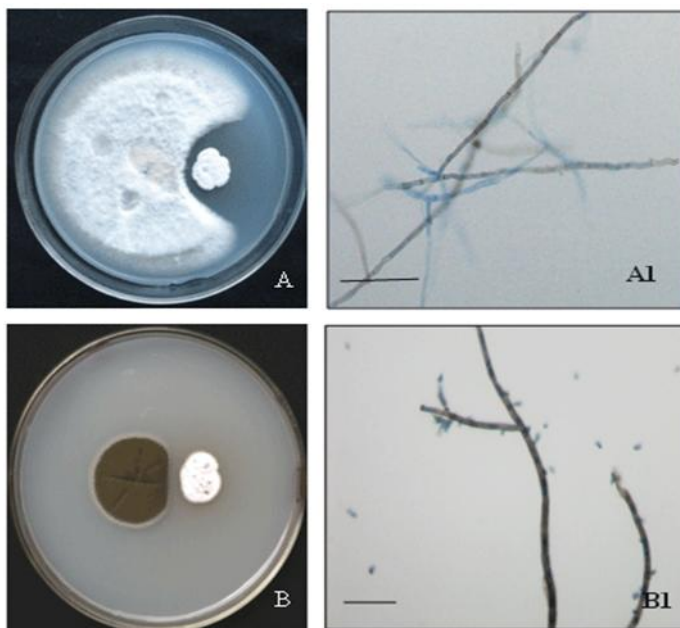


Figure 26: Production de composés antifongiques par *Streptomyces cavourensis* NEA5 et *Streptomyces* sp NEA55 (AetB) et l'inhibition de *R. solani* en raison des composés diffusibles produits. Déformations morphologiques: (A1 et B1) Les structures normales de *R. solani* (Malviya *et al* ., 2018).

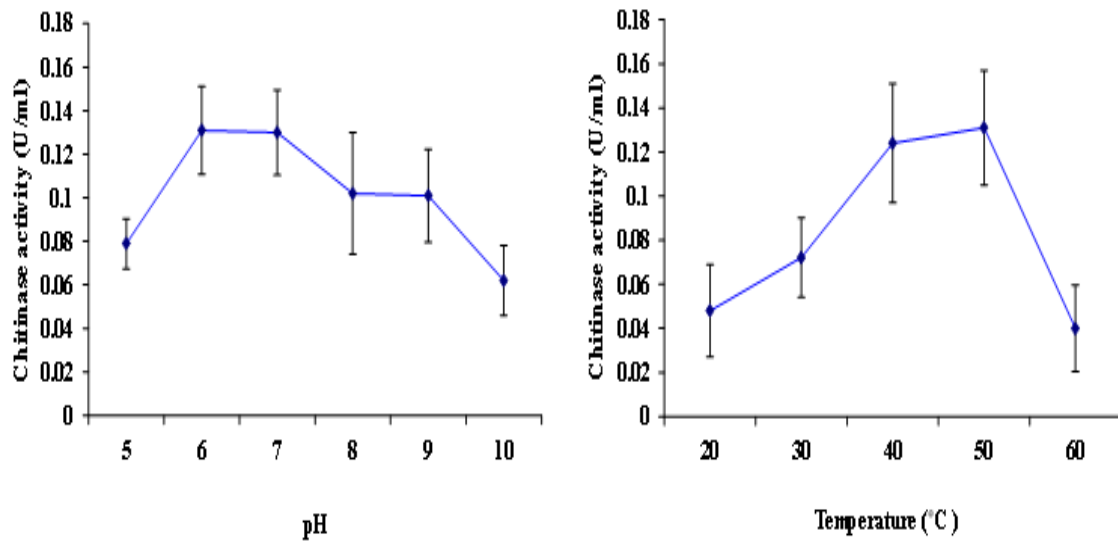


Figure 27: Activité chitinase de *Streptomyces cavourensis* NEA5 à différents pH et températures (Malviya *et al.* , 2018).

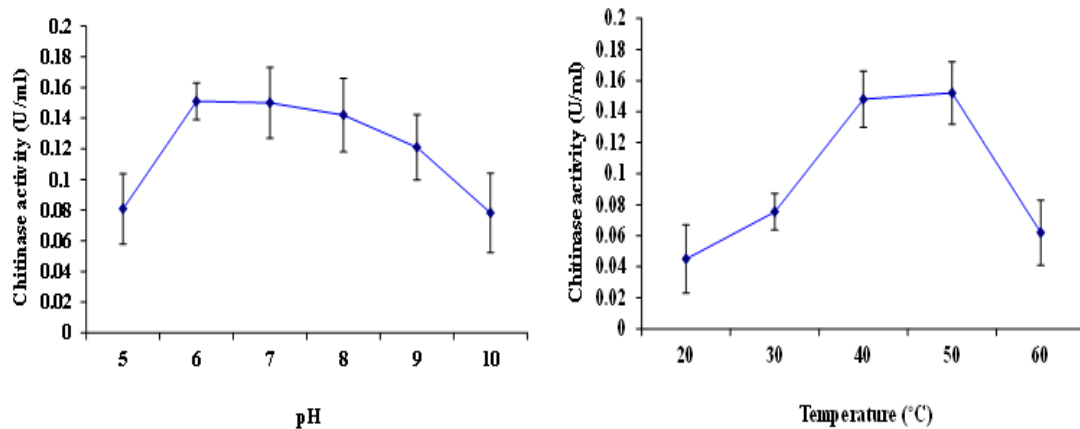


Figure 28: Activité chitinase de *Streptomyces sp* NEA55 à différents pH et températures (Malviya *et al.* , 2018).

Les deux espèces ont montré une activité Chitinase maximale à pH 6 et à une température de 50 °C, tandis qu'une activité enzymatique minimale a été observée à pH 10 et à une température de 20 °C.

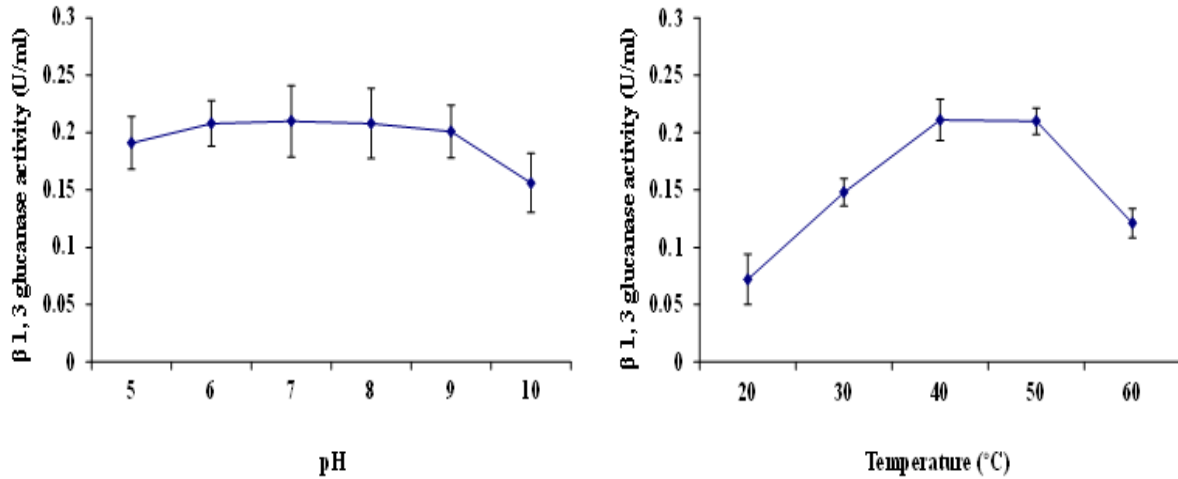


Figure 29: Activité glucanase de *Streptomyces cavourensis* NEA5 à différents pH et températures (Malviya *et al.* , 2018).

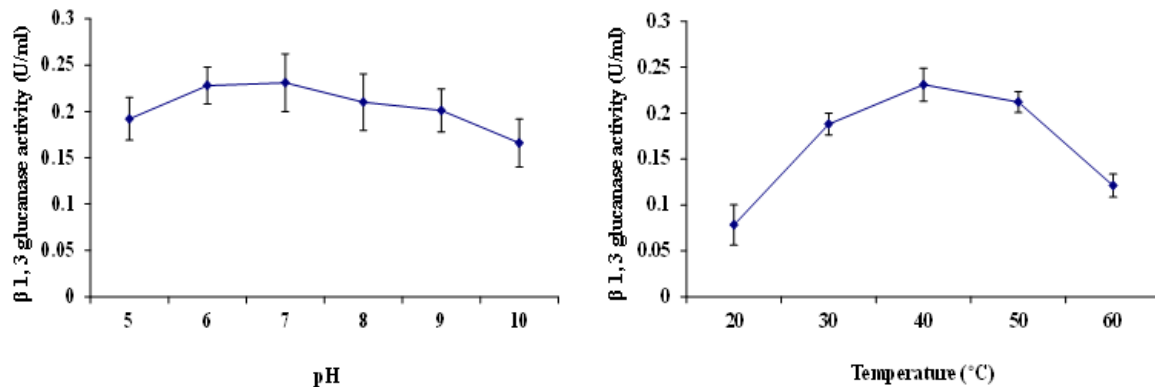


Figure 30: Activité glucanase de *Streptomyces sp* NEA55 à différents pH et températures (Malviya *et al.* , 2018).

Les deux espèces ont montré une activité glucanase maximale à pH 7 et à une température de 40 °C et une activité minimale à pH 10 et une température de 20 °C. Les deux espèces hydrolysaient le glycol – chitine comme substrat dans des conditions dénaturantes montrant une quantité variable d'isoformes différentes.

L'activité de la chitinase a été également mise en évidence par la technique SDS-PAGE. Les deux espèces ont montré une capacité à hydrolyser le glycol–chitine comme substrat dans des conditions dénaturantes montrant une quantité variable d'iso formes différentes (Fig.31).

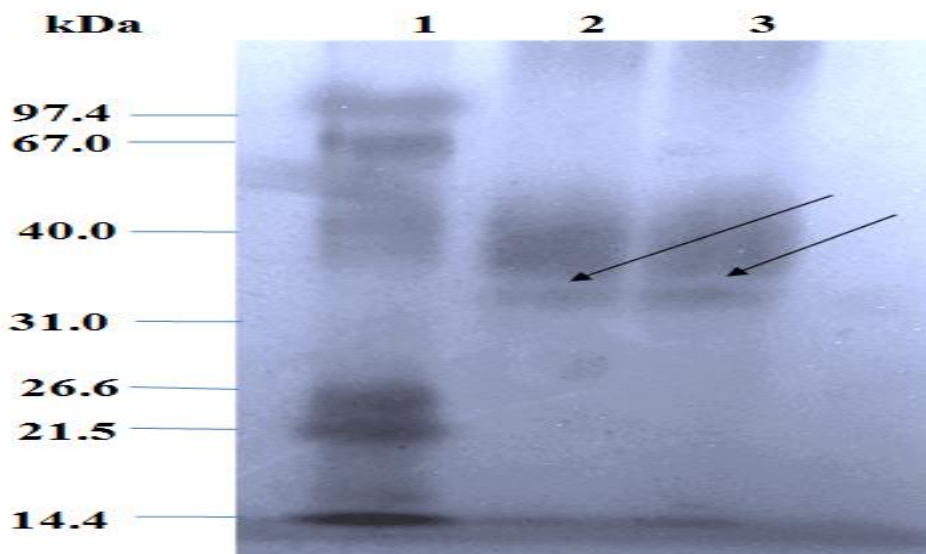


Figure 31: Détection de l'activité de la chitinase après SDS-PAGE en utilisant de la chitine glycol comme substrat, piste 1 (marqueurs de poids moléculaire), piste 2 et échantillon 3 *Streptomyces cavourensis* NEA5 et *Streptomyces sp* NEA55, respectivement (Malviya *et al* ., 2018).

Les espèces présentant une quantité variable d'isoformes différentes avec des poids moléculaires entre 31 et 40 kDa sont présentées sur la figure 6. La majorité des chitinases bactériennes se situent dans la plage de 20 à 60 kDa.

Conclusion

La culture de pommes de terre est matière à de nombreux ravageurs et maladies. Le rhizoctone brun est une maladie causée par le champignon *Rhizoctonia solani*. Cette maladie se manifeste comme des croutes brunes (sclérotés), sur la peau du tubercule. Le rhizoctone provoque des dommages variés sur la pomme de terre, à différents stades du cycle de sa végétation. Elle est la cause des pertes économiques sérieuses de ce féculent très bien apprécié dans notre pays.

Le *Rhizoctonia* s'attaque principalement aux plantes qui subissent des stress ou qui présentent des blessures. Les conditions de sol fraîches et humides au moment du semis (15 et 18 °C), sont favorables pour sa croissance. Les températures de (20-32 °C), durant la saison de croissance des plantes matures sont nécessaires pour sa croissance. L'humidité élevée du sol est également un facteur favorable. Ainsi que la mauvaise circulation de l'air à l'intérieur du feuillage des plants. Les feuillages qui touchent le sol, favorisent son apparition. Les facteurs qui retardent la levée des plantes comme les plantations profondes ou précoces et avec des plants non germés ou non réchauffés. Les rotations courtes sont un facteur aggravant les attaques, de même qu'un long délai entre le défanage et la récolte.

Pour lutter contre cette maladie, les pesticides sont actuellement la solution la plus utilisée. Ces substances chimiques présentent cependant des effets nocifs sur la santé humaine et sur l'environnement. Les travaux récents, s'orientent sur l'utilisation d'autres microorganismes antagonistes de ce phytopathogène fongique. D'après les résultats de plusieurs travaux, la lutte contre la maladie de la Rhizoctone brun est possible. Plusieurs souches microbiennes pour la lutte biologique contre ce phytopathogène ont été utilisées avec succès. Les *Streptomyces spp*, les *Trichoderma spp* sont les meilleurs candidats pour la production des métabolites secondaires biologiquement actifs. D'autres microorganismes comme *Verticillium biguttatum*, *Bacillus subtilis*, et *Pseudomonas spp* sont aussi des agents de biocontrôle très efficaces contre *R. solani*.

Ces actions antagonistes se présentent soit par production d'antibiotiques actifs vis-à-vis de *R. solani*. C'est le cas de plusieurs espèces de *Streptomyces*, qui produisent des métabolites bioactives à potentiels biologiques variés. Certaines espèces agissent par inhibition de la biosynthèse de l'élément essentiel de la paroi cellulaire (la chitine). Un autre mode d'action a été utilisé par un certain nombre de microorganismes comme *V. biguttatum*. Il

concerne l'utilisation d'enzymes comme les chitinases, qui dégradent les parois du phytopathogène.

L'utilisation des microorganismes dans la lutte biologique contre l'agent du rhizoctone brun est une stratégie très prometteuse. Elle permet de limiter l'usage non souhaité des molécules pesticides. Cependant, la diversité de souches de *R. solani*, nécessite l'isolement de microorganismes autochtones capables d'agir sur le phytopathogène présent dans les sols Algériens. En perspective, il serait nécessaire en Algérie, de sélectionner des souches microbiennes natives, capable d'agir sur ce champignon phytopathogène.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Ahmid, A. (2009).Essai comparatif de l'impact de fertilisation organique et minérale sur la culture de pomme de terre dans la région d'El-Oued .Mémoire d'ingénieur : Université d'Ouargla. 85P.

Alabouvette, C., Olivain, C., Steinberg, C. (2006). Biological control of plant diseases : the European situation. *European Journal of Plant Pathology*, 114, 329-341

Anderson, A. (1982) .The genetics and pathologie of *Rhizoctonia solani*
Ann .Rev .Phytopathology ,20 ,329-47

Anonyme. (1999). Techniques de la production au Maroc. Bulletin de liaison de l'information du PNTTA. Transfert de technologie en agriculture N°52. 4P.

APPI. Rhizoctone brun-lakdchurft-wurzeltoterkrankheit[en ligne]. (Page consultée le 24/08/2020)

<https://appi.be/fr/fiches-maladies-ravageurs/rhizoctone-brun-lakdchurft-wurzeltoterkrankheit>

Baker, R. (1988).*Trichoderma spp.* As plant-growth stimulants, *CRC Crit. Rev. Biotechnol*, 7 (2) ,97-106.

Bamouh, A. (1999). Technique de production de la pomme de terre au Maroc, fiche technique, N° 52. PNTTA. 4P

Bamouh, H. (1999). Technique de production la culture de pomme de terre, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N° 58, PP1-15.

Banks, E. (2004). Potato Field Guide - Insects, Diseases and Defects. Publication 823. Ministry of Agriculture and Food. Ontario. 37-41p.

Banville, G.J. (1989). Yield losses and damage to potato plants caused by *Rhizoctonia solani* Kühn. *American potato journal*, 66,821-834.

BASF. Le rhizoctone de la pomme de terre[en ligne]. (Page consultée le 26 /03/2020).

https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/pomme_de_terre/maladies_de_la_pomme_de_terre/rhizoctone_pomme_de_terre.html

Belabed, B. (2014). Recherche des activités Anti-pathogènes chez les espèces du genre *Streptomyces* isolées de différents biotopes .Mémoire de Magister : Biologie moléculaire et génétique des micro-organismes .Université d'Oran ,118p .

Benadjila. Agriculture:Les producteurs de pomme de terre deviennent des agricultures itinérants [En ligne].consulté le (08/03/2020)

<https://www.afrique-agriculture.org/articles/filieres/la-pomme-de-terre-dans-tous-ses-etats>

Benbrook, C.M., Groth, E., Halloran, J.M et al. (1996). Pest management at the crossroads, Consumers Union, Yonkers .New York.272p.

Benítez, T., Rincón, A.M., Limón, M.C et al. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. Int. Microbiol, 7(4), 249-260.

Ben Salem, S., Haouala, R ., Jabnoun-khiredine, H et al. (2013). Evaluation de l'activité antifongique de *Trichoderma spp.* *Gliocladium spp.* et *Aspergillus spp.* Contre *Rhizoctonia solani* par double culture et teste de leurs filtrats de culture. Microbiol .Hyg.Alim ,25(73)

Bessaoud, O., Lefki, K. (2018). ENPARD. Diagnostic du système de régulation de la pomme de terre en Algérie.46p.

Bouladjeraf, N. (2017). Etude in vitro et in vivo l'efficacité de l'extrait phénolique de *Salvia officinalis* sur *Botrytis cinerea* et *Rhizoctonia solani*. Mémoire de master : science agronomique. Mostaganem : université Mostaganem ,66p

Boufares, K. (2012) .Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et Chubak) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. Thèse Magistère : Agronomie, Amélioration de la production végétale et biodiversité : Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen.108 p

Boulet, I. (2016). Pomme de terre : Bulletin d'information N°1 .France .4p

Bovin, G. (2001). Parasitoïde et lutte Biologique : paradigme ou panacée ? .centre de recherche et de développement en Horticulture, Agriculture et Agroalimentaire. Canada[en ligne], 2(2) (consultée le 27 /04/2020) [http : www.vertigo.Uqam.ca/vol_2N2/art8_vol2N2 /guy bovin. html.](http://www.vertigo.Uqam.ca/vol_2N2/art8_vol2N2_guy_bovin.html)

Blancard, D. (2019). Rhizoctone brun et/ou foliaire (INRA) [en ligne]. (Page consultée le 26 /03/2020). <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23066/Tropileg-Rhizoctone-brun-Rhizoctonia-solani>

Brigitte, M. (2019). Rhizoctonia. Fiche technique. 6P

Brimner, A., Boland, G.J. (2003). A review of the non-target effects of fungi used to biologically control of plant diseases. Arg. Ecosyst. Environ, 100, 3-16.

Camporota, P. (1985). Antagonisme in vitro de Trichoderma spp. vis-à-vis de Rhizoctonia solani Kühn. Agronomie, 5 (7) ,613-620.

Castillo, H. F., Aguilar, C., Reyes, C. F et al. (2013). Biological control of root pathogens by plant-growth promoting Bacillus spp. INTECH Open Access Publisher.

CAW .2018.chambre d'agriculture de la wilaya d'EL-oued .donnée statistique

Ceresini, P. (1999).*Rhizoctonia solani* : Pathogen profile created by Paulo Ceresini as one of the requirements of the course PP-728 Soilborne Plant Pathogens.

Ceresini, P. (2012).*Rhizoctonia solani* AG-3PT is the major pathogen associated with potato stem canker and black scurf in colombia.30 (2) ,204-213

Chebbah, A. (2016). Contribution à l'étude de la production de quelques variétés de pomme de terre dans la région de Tlemcen. Mémoire master : université de Tlemcen.63p.

Chahredine, S. (2018) .Amélioration de l'aptitude à la callogenèse chez la pomme de terre *Solanum tuberosum* L. somatique de la pomme de terre par la sélection de meilleurs équilibres hormonaux. Thèse de doctorat science : biotechnologie végétale. Constantine .Université de Constantine 1 ,142p

CDARS. 2017. Commissariat de développement agricole dans les régions sahariennes. Rapport. Données statistiques.

CNCC. 2013. Centre National de Contrôle et de Certification des Semences. Bilan de la réunion de coordination. Algérie

Copping, L.G., Menn, J.J. (2000). Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. Pest Manage. Sci. 56(8), 651-676.

- Corbaz, R. (1990).** Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. Presses polytechniques et universitaires romandes, 9 ,167-255.
- Cook R.J. (1993).** Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol, 31, 53–80.
- Crawford, D.L., Kowalski, M., Roberts, M.A et al. (2005).** Discovery, development, and commercialization of a microbial antifungal biocontrol agent, *Streptomyces lydicus* WYEC108: history of a decade long endeavor. Soc. Indu. Microbiol. News, 55, 88-95.
- Davet, P. (1986).** Activité parasitaire des *Trichoderma* vis-à-vis des champignons à sclérotés : corrélation avec l'aptitude à la compétition dans un sol non stérile. Agronomie, 6 (9) ,863-867.
- Delaplace, P. (2007).** Caractérisation physiologique et biochimique du processus de vieillissement du tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*). Thèse de doctorat : Agronomiques. Gembloux : Universitaire des Sciences Agronomiques, p211.
- Demirci, E. (2011).** TURKISH JOURNAL OF BIOLOGY, 32(35), 457-462
- Djebbour F, Z(2015).** Evaluation de l'état d'infestation de quelques parcelles par les nématodes à kystes Globodera de la pomme de terre-Enquête sur ces parasites dans la région d'Ain Defla. Mémoire –ingénieur : Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.74p
- Driesche Van R.G., Bellows T.S. (1996).**Biological control. Chapman and Hall .U.S.A
- El-Tarabilya, K. A., Sivasithamparam, K. (2006).** Non-streptomycete actinomycete as biocontrol agents of soil-bourne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. Soil Biology and Biochemistry, 38(7), 1505-1520. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.12.017>
- El watan.** Production de la pomme de terre à El Oued : Appel à mettre un terme à la chute des prix [en ligne]. (Page consultée 14/03/2020).
<https://www.elwatan.com/regions/est/actu-est/production-de-la-pomme-de-terre-a-el-oued-appel-a-mettre-un-terme-a-la-chute-des-prix-30-12-2019>
- Emmert, E.A.B., Handelsman, J. (1999).** Biocontrol of plant disease: a (Gram-) Positive perspective. FEMS. Microbiol, 171, 1-9.

Erkol, D., Cafer, E., Elif, D. (2009). Biological control of *Rhizoctonia solani* on potato by *Verticillium biguttatum*. *African Journal of Biotechnology* ,8(11), 2503-2507

Errakhi, R. (2008). Contribution d'actinomycètes (Actinobactéries) à la lutte biologique contre *Sclerotium rolfsii* et rôle de l'acide oxalique dans l'induction des mécanismes de défense. Thèse de Doctorat. Université Cadi Ayyad, Marrakech Maroc.

FAO.2008. Food and Agricultural Organisation

FAOSTAT. 2013. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome, base de données FAOSTAT; Fonds monétaire international (FMI), Washington, D.C, base de données, Statistiques financières internationales, base de données; Division de Statistiques de Nations Unies, base de données du Bulletin mensuel de statistiques.

<http://www.fao.org/potato2008/fr/pommedeterre/varieties.html>

FAOSTAT.2018. Food and Agriculture Organization. Statistiques mondiale de pomme de terre .consulté le: 09/03/2020 www.fao.org/ FAOSTAT / fr

Faurie, C., Ferrà, M., Dévaux, J. et Hemptienne, J.L. (2003). Ecologie Approche scientifique et pratique. 5^{ed}. Lavoisier. 450 p.

Gaucher, D., Champeil, A., Le Hingrat, Y. et al. (2014). Réduire l'impact des maladies telluriques dans les systèmes de cultures par une protection intégrée et durable des grandes cultures, *Innovations Agronomiques*, (34) ,51-65

Ghazi, S., Ousdidene, R. (2017). Influence des facteurs environnementaux et variétaux sur la fitness des pucerons de la pomme de terre, dans la région de Bouira. Mémoire Master : Santé des plantes .Bouira : U université Akli Mohand Oulhadj,97p

Ghomari, S. (2014). Production de variante de pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*) tolérants au stress salin. Mémoire de doctorat : Agronomie, biotechnologie végétale. Mostaganem : Université Abdelhamid ibn badis, 161p.

Grosch, R., Faltin, F., Lottmann, J. et al. (2005). Effectiveness of 3 antagonistic bacterial isolates to control *Rhizoctonia solani* Kühn on lettuce and potato, 51(4), 345-353.

<https://doi.org/10.1139/w05-002>

Guillaume, B., Cyril, H et Elise, V. (2012). (ARVALIS - Institut du végétal). Des risques d'attaques de rhizoctone brun [en ligne] (page consultée le 27 /03/2020)

<https://www.arvalis-infos.fr/des-conditions-actuelles-favorables-au-developpement-du-rhizoctone-@/view-10192-arvarticle.html>

Harman, G.E. (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96, 190-194.

Hawkes, J G.(1990). The Potato, Evolution, Biodiversité and genetic resources .London. Belhaven Press. 259p

Hide, G., Read, P., Sandison, JP. (1985). Stem canker (*Rhizoctonia solani*) of maincrop potatoes. *Annals of Applied Biology*. 106 ,423–437.

Hmouni, A., Massoui, M ., Douira, A. (1999). Étude de l'activité antagoniste de *Trichoderma* spp. Et de *Gliocladium* spp. À l'égard de *Botrytis cinerea*, agent causal de la pourri-ture grise de la tomate. 100 ,75-92.

Howell, C.R., Stipanovic, R.D. (1980). Suppression of *Pythium ultimum*-induced damping off of cotton seedlings by *Pseudomonas fluorescens* and its antibiotics, pyoluterin. *Phytopathol*, 70, 712-715.

Helluy, S., Holmes, J.C. (2005). Parasitic manipulation: further considerations. *Behav. Processes*. 68, 185-99.

INRAA .Institut National de la Recherche agronomique d'Algérie [en ligne]. (page consulté le 23/08/2020).

<http://www.inraa.dz/index.php/component/k2/itemlist/category/1-evenement-scientifiques>

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

Kerr, J. (2014). Plants de pomme de terre : Guide de la CEE-ONU sur les maladies parasites et défauts des plants de pomme de terre. New York et Genève. 112p.

Khedir, H., Letoufa, S. (2008). Contribution à l'étude de l'effet de la fertilisation azotée-potassique sur la culture de la pomme de terre (var Spunta) dans la région du Oued-Souf. Mémoire d'ingénieur : Agronomie Saharienne. Ouargla : Université KASDI MERBAH, 134P

Lynch, J.M., Lumsden, R.D., Atkey, P.T et al. (1991a). Prospects for control of Pythium damping-off of lettuce with *Trichoderma*, *Gliocladium* and *Enterobacter spp.* Biol. Fertil. Soils ,12 ,95-99.

Lynch, J.M., Wilson, K.L., Ousley, M.A et al. (1991b). Response of lettuce to *Trichoderma* treatment. Lett. Appl. Microbiol, 12,56-61.

Malviya, K.M., Trivedi, P., Pandey, A. (2018) Activités de chitinase et de glucanase de *Streptomyces* antagonistes isolés à partir de parcelles cuites en culture itinérante dans le nord-est de l'Inde. J Adv Res Biotech [en ligne], 3 (1): 1-7(page consultée le 16/07/2020)

<http://dx.doi.org/10.15226/2475-4714/3/1/00130>

Melo, I.S., faull, J.L. (2000) .Parasitism of *Rhizoctonia solani* by strains of *Trichoderma spp.* Scientia Agricola. 14 p.

Messiaen, C.M ., Fabienne, M .P. (2009). La potager familial méditerranéen .France : la découverte. 181p.

Mezeal, A. I. (2014). Study biocontrol efficacy of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* against *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* causing disease in tomato (*Lycopersicon esculentum L.*). Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences[en ligne], 4 (4) (consultée le 29/04/2020) <http://www.cibtech.org/jls.htm> 2014 pp.175- 183

Mouria, A., Ouazzani-Touhami, A., Douira, R et al. (1997). Antagonisme in vitro de *Trichoderma spp.* vis-à-vis de *P. oryzae*. Al Awamia, 96, 9-17.

Muzhinji, N., Woodhall, J., Truter, M., et al. (2016). Population génétique structure de *Rhizoctonia solani* AG 3-PT de pommes de terre dans Sud Afrique, 120 (5) ,2-5.

Nagwa, M. Atef. (2008). *Bacillus subtilis* and *Trichoderma Harzianum* as Wheat Inoculants for Biocontrol of *Rhizoctonia Solani*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2(4), 1411-1417

Naïli. Agriculture. La pomme de terre dans tous ses états[en ligne]. (Page consultée le 13/03/2020) <https://www.afrique-agriculture.org/articles/filieres/la-pomme-de-terre-dans-tous-ses-etats>

Neil, A. (1982). The genetic and pathology of *Rhizoctonia solani*, annual review of phytopathology, (20) ,329-347

ONFAA.2016.Observation National des Filière Agricoles et Agro-alimentaire

Consulté le (12/03/2020) <http://onfaa.inraa.dz/index.php/agriculture-alimentation/productions-vegetales/item/157-renforcer-les-capacites-de-transformation-de-la-pomme-de-terre-et-encourager-l-exportation.html>

Ouazzani, A., Douira, A., Benkirane, R et al. (1994). Antagonisme in vivo de certaines espèces fongiques vis-à-vis de *Verticillium dahliae*. 7, 197-211.

Ouhdouch, Y., Barakate, M., Finance, C. (2001). Actinomycetes of Moroccan habitats:isolation and screening for antifungal activities. Eur. J. Soil Biol. 37(2), 69–74.

Ouramdane. Pomme de terre: 30% de la production nationale assurés par la wilaya d’El Oued [en ligne] (page consultée le 14/03/2020)

<https://www.algerie-eco.com/2019/01/29/pomme-de-terre-30-production-nationale-assures-del-oued/>

Oyetunde, A., Bradley, C. (2018).*Rhizoctonia solani*: taxonomie, biologie des populations et pris en charge de la maladie des semis de *Rhizoctonia* de soja .67 ,3-17

Paulitz, T. C., Bélanger, R.R. (2001). Biological Control in Green house Systems. Annual Reviews.Phytopathology. 348 p.

Pérou, I. (1990).Les principale maladies nématodes de la pomme de terre. International potato centre .96p

Polese, J-M. (2006).La culture des pommes de terre. France : la découverte.61p.

Prescott, L.M., Harley, J.P., Klein, D.A. (2007). Microbiologie. De Boek & Larcier, Bruxelles, 805-825

Paul, B., Masih, I. (2006).Lutte biologique contre les maladies cryptogamiques de la vigne : la pourriture grise (*Botrytis cinerea*), l'oïdium (*Uncinula necator*) et le mildiou (*Plasmopara viticola*). www.u-bourgogne.fr/iuw/lutte.html

Rachdame, M. (2010) .Essai de suivi de l'irrigation de la pomme de terre dans la région d'oued-sauf .mémoire ingénieur : Agronomie saharienne : Université kasdi Merbah-ouargla, p 95

Richard, C ., Boivin, G. (1994). Maladies et Ravageurs des Cultures Légumières au Canada : Rhizoctonie (rhizoctone brun, rhizoctone noir, variole des tubercules) de la pomme de terre. La Société Canadienne de Phytopathologie et la Société d'Entomologie du Canada, Canada. 263-264p. (<http://phytopath.ca/wp-content/uploads/2014/10/MRCLC/ch16-pomme-de-terre.pdf>)

Raaijmakers, J.M., Vlami, M., Jorge, T. (2002). Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie van Leeuw* 81, 537–547.

Rakotoarimanga, N ., Zananirina, J ., Ramamonjisoa, D *et al.* (2014). Lutte biologique antifongique : actinomycètes du sol rhizosphérique antagonistes de *Fusarium* isolé du fruit de tomate (*Solanum lycopersicum L.*, 1753) pourri.10(3) ,243 – 255

Rousselle,P.,Robert,Y.,Crosnier,J.C.(1996).La pomme de terre : Production,amélioration,ennemis et maladies,utilisation.INRA,Paris :la découverte.605p.

Rousselle, P., Robert, Y., Crosnier, J.C. (1996).La pomme de terre production, Amélioration, Ennemis et Maladies. Utilisation édition R Doun.278 p.

Rousselle, P., Rousselle Bourgeois., Ellisseche D., (1992). La pomme de terre in Amélioration des espèces végétales cultivées .Gallais A, Bammerot H., 1992- SAE,

Santoyo, G., Orozco-Mosqueda, M. D. C., Govindappa, M. (2012). Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of PDF Pro Evaluation *Bacillus* and *Pseudomonas*: à review. *Biocontrol Science and Technology*, 22(8), 855-87

Schottel, J.L., Shimizu, K., Kinkel, L.L. (2001). Relationships of in vitro pathogen inhibition and soil colonization to potato scab biocontrol by antagonistic *Streptomyces spp.* *Biol. Control*. 20(2) ,102–112.

Singh, A., Mehta, S., Singh, H.B., Nautiyal, C.S. (2003). Biocontrol of collar rot disease of betelvine (*Piper betle L.*) caused by *Sclerotium rolfsii* by using rhizospherecompetent

Pseudomonas fluorescens NBRI-N6 and *P. fluorescens* NBRI-N. *Cur. Microbiol.*, 47(2), 153-158

Singh, S.P., Singh, H.B., Singh, D.K., et Rakshit, A. (2014). Trichoderma-mediated enhancement of nutrient uptake and reduction in incidence of *Rhizoctonia solani* in tomato. *Egyptian Journal of Biology*, 16(1), 29-38

Solanki, M. K., Robert, A. S., Singh, R. K et al. (2012). Characterization of mycolytic enzymes of *Bacillus* strains and their bio-protection role against *Rhizoctonia solani* in tomato. *Current microbiology*, 65(3), 330-336.

TRIBUNE. PRODUCTION DE POMME DE TERRE À EL-OUED : Un nouveau système activé[en ligne] (page consultée le 14/03 /2020).

<http://www.tribunelecteurs.com/production-de-pomme-de-terre-a-el-oued-un-nouveau-systeme-active/>

UNPT. 2009. Union Nationale de Production de la Pomme de Terre : production mondiale. http://www.producteursdepommesdeterre.org/static/production_mondiale

UNPT. (2019,2020). Union Nationale de Production de la Pomme de Terre : Profile N°78, Producteur de la filière de la pomme de terre. http://www.producteursdepommesdeterre.org/static/production_mondiale

Valueva, T.A., Mosolov, V.V. (2004). Role of inhibitors of proteolytic enzymes in plant defense against phytopathogenic microorganisms. *Biochem.* 69, 1305-1309.

Wharton, P., Kirk, W., Berry, D et Snapp, S(2007). *Rhizoctonia* stem canker and black scurf of potato. *Bulletin E2994. Michigan state university.* 6PP

Xiao, K., Kinkel, L.L., Samac, D.A. (2002). Biological control of *Phytophthora* root rots on alfalfa and soybean with *Streptomyces*. *Biol. Control*, 23(3), 285-295

Yakhlef, S. (2014). Suivi des maladies fongiques de pomme de terre *Solanum tuberosum* L. dans la région d'EL-Oued. Mémoire : Biotechnologie végétale. Ouargla: université kasdi merbah ouargla, 65p.

Zine, S. (2009). Etude de l'effet du paillage plastique noire sur la culture de la pomme de terre *Solanum tuberosum* L., var. Spunta conduite sous système d'irrigation goutte à goutte

dans la région d'Oued-Souf. Mémoire d'ingénieur : Agronomie Saharienne. Ouargla :
Université KASDI MERBAH, 76P.

Résumé

Dans le cadre de ce travail bibliographique, nous avons réalisé un rapport sur les maladies de la pomme de terre. Plusieurs données ont été rapportées sur les variétés de la pomme de terre cultivées dans le monde et en Algérie. La revue met l'accent sur l'une des maladies de la pomme de terre la plus retrouvée dans notre pays. Cette maladie dite le rhizoctone brun, constitue l'une des pathologies les plus nuisibles qui cause des dégâts économiques considérables dans notre pays. Il en ressort que cette maladie est répandue partout où l'on cultive la pomme de terre. Elle est facilement identifiable par les croûtes noires (variole) qu'on trouve sur la peau du tubercule et qui ne s'enlèvent pas au lavage. La plupart des souches de *Rhizoctonia* qui attaquent la pomme de terre sont en grande partie spécifiques à cette culture. La rhizoctonie se manifeste particulièrement sur les organes qui sont en contact avec le sol froid et l'humidité peut causer de graves dommages. Les plus grands dommages surviennent principalement au printemps, durant les semaines suivant la plantation. La lutte biologique est parmi les objectifs tracés dans ce travail. Plusieurs techniques consistant à introduire des microorganismes dans le sol pour le contrôle de *Rhizoctonia solani*, ont été recensées. Parmi les champignons, ce sont plusieurs espèces appartenant au genre *Trichoderma* et *Verticillium biguttatum*, qui sont les plus utilisés comme agent de bio-contrôle contre *Rhizoctonia solani*. Les bactéries ont été également utilisées comme agents antagonistes contre ce phytopathogène fongique. Il s'agit de *Bacillus subtilis*, de certaines espèces de *Pseudomonas* et de plusieurs *Streptomyces spp.*

Mots clés : rhizoctone brun, *Rhizoctonia solani*. Pomme de terre, antagonisme

ملخص

أنجزنا تقرير على أمراض البطاطا في إطار هذا العمل البيبليوغرافي . تم تقديم عدة معطيات على أنواع البطاطا المزروعة في العالم وفي الجزائر. تركز هذا العمل على أحد أمراض البطاطا الأكثر انتشارا في بلادنا. هذا المرض المسمى بالريزوكتون أسود *La Rhizoctone brun* يشكل أحد الأمراض الأكثر ضررا الذي يتسبب في أضرار اقتصادية معتبرة في بلادنا. يتبين أن هذا المرض منتشر أينما نزرع البطاطا. يمكن التعرف عليه بسهولة بالقشور السوداء (الجدري) الموجودة على جلد الدرنة و التي لا تنزع بالغسيل. معظم سلالات *Rhizoctonia* التي تهاجم البطاطا مميزة بشكل كبير في هذه الزراعة. تظهر *Rhizoctonia* خاصة على الأعضاء الملامسة للتربة الباردة و الرطوبة و التي يمكنها أن تسبب أضرارا جسيمة. تحدث الأضرار الكبيرة خاصة في الربيع أي خلال الاسابيع التي تلي الزراعة . المكافحة البيولوجية من بين الأهداف المسطرة في هذا العمل. تم تحديد العديد من التقنيات العاملة على إدخال الكائنات الدقيقة في التربة للتحكم في *Rhizoctonia solani*. العديد من الكائنات من بينها الفطريات التي تنتمي إلى جنس *Trichoderma* و *Verticillium biguttatum* هي الأكثر استخداما كعامل تحكم بيولوجي ضد *Rhizoctonia solani* . كما تم استخدام البكتيريا كعوامل مضادة لهذه الفطريات المُمرضة للنبات . يتعلق الأمر ب *Bacillus subtilis* و أنواع معينة من *Pseudomonas spp* و عدة *Streptomyces spp*.

الكلمات المفتاحية: ريزوكتون أسود (Rhizoctone brun) ، *Rhizoctonia solani*، البطاطا ، مضاد

Abstract:

As part of this bibliographical work, we have produced a report on potato diseases. Several data have been reported on potato varieties of cultivated in the world and in Algeria. The review focuses on one of potato diseases most commonly found in our country. This disease known as *Rhizoctonia* is one of the most harmful pathologies which cause considerable economic damage in our country. It turns out that this disease is widespread wherever potatoes are grown. It is easily identified by the black crust (smallpox) found on the skin of the tuber, which cannot be removed by washing. Most strains of *Rhizoctonia* that attack potatoes are largely specific to this crop. *Rhizoctonia* occurs particularly on organs that are in contact with cold soil and moisture can cause serious damage. The greatest damage occurs mainly in the spring, during the weeks following planting. Biological control is one of the objectives outlined in this work. Several techniques consisting of introducing microorganisms into the soil for the control of *Rhizoctonia solani* have been identified. Among the fungi , several species belonging to the genus *Trichoderma* and *Verticillium biguttatum* which are the most used as a bio-control agent against *Rhizoctonia solani*. Bacteria have also been used as antagonistic agents against this fungal phytopathogen. These include *Bacillus subtilis*, certain species of *Pseudomonas* and several *Streptomyces spp.*

Key words: Rhizoctone brun, *Rhizoctonia solani*, potato, antagonism

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

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biologie moléculaire des microorganismes

Titre : *Rhizoctonia solani* un phytopathogène pour la pomme de terre. Synthèse bibliographique sur des moyens de luttés biologiques

Dans le cadre de ce travail bibliographique, nous avons réalisé un rapport sur les maladies de la pomme de terre. Plusieurs données ont été rapportées sur les variétés de la pomme de terre cultivées dans le monde et en Algérie. La revue mets l'accent sur l'une des maladies de la pomme de terre la plus retrouvée dans notre pays. Cette maladie dite le rhizoctone brun, constitue l'une des pathologies les plus nuisibles qui cause des dégâts économiques considérables dans notre pays. Il en ressort que cette maladie est répandue partout où l'on cultive la pomme de terre. Elle est facilement identifiable par les croûtes noires (variole) qu'on trouve sur la peau du tubercule et qui ne s'enlèvent pas au lavage. La plupart des souches de *Rhizoctonia* qui attaquent la pomme de terre sont en grande partie spécifiques à cette culture. La rhizoctonie se manifeste particulièrement sur les organes qui sont en contact avec le sol froid et l'humidité peut causer de graves dommages. Les plus grands dommages surviennent principalement au printemps, durant les semaines suivant la plantation. La lutte biologique est parmi les objectifs tracés dans ce travail. Plusieurs techniques consistant à introduire des microorganismes dans le sol pour le contrôle de *Rhizoctonia solani*, ont été recensées. Parmi les champignons, ce sont plusieurs espèces appartenant au genre *Trichoderma* et *Verticillium biguttatum*, qui sont les plus utilisés comme agent de bio-contrôle contre *Rhizoctonia solani*. Les bactéries ont été également utilisées comme agents antagonistes contre ce phytopathogène fongique. Il s'agit de *Bacillus subtilis*, de certaines espèces de *Pseudomonas* et de plusieurs *Streptomyces spp.*

Mot clés : Rhizoctone brun, *Rhizoctonia solani*, pomme de terre, antagonisme.

Membre du jury :

Président du jury : Benhizia Yacine (professeur - UFM Constantine).

Rapporteur : Boudemagh Allaoueddine (professeur - UFM Constantine).

Examineur: Kitouni Mahmoud (professeur - UFM Constantine).

**Présentée par : ZELLAGUI CHAIMA
TLILANI IMANE**

Année universitaire : 2019 -2020

