

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université A. Mira De Bejaia**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Microbiologie**  
**Spécialité Biotechnologie Microbienne**



Réf:.....

**Mémoire de fin de cycle**  
**En vue l'obtention du diplôme**  
**MASTER**

***Thème***

**Etude de l'impact du Mildiou sur**  
**la cultures des solanacées**

Présenté par :

**AIT KHELIFA Djillali**

**BOUAHMED Menad**

Soutenu le: 12 septembre 2022

Devant le jury composé de:

**Mlle .BENSIDHOUM L.**

**Mr.ADJEBLI A.**

**Mlle.BOUAOUD Y.**

**MCB**

**MCA**

**MCB**

**Presidente**

**Examineur**

**Promotrice**

**Année universitaire:2021/2022**

# *Remerciements*

Ce mémoire est le résultat d'un travail approfondi dont l'objectif ne peut être atteint sans la participation de nombreuses personnes. On tient à exprimer notre gratitude à toutes ces personnes pour tout ce qu'elles nous ont apporté dans la réalisation de notre travail et dans l'aboutissement de cet humble mémoire de fin d'études.

On souhaiterait en premier lieu, remercier **Mlle. BOUAOUD Y** maitre de conférences classe B, notre promotrice, pour sa patience, son accompagnement. Ses judicieux conseils nous ont énormément aidés dans nos réflexions et nous ont permis d'orienter encore plus facilement nos recherches. Sa disponibilité à suivre nos travaux pendant toute la durée de notre travail nous a été d'une précieux concours.

Nous tenons également à présenter nos vifs remerciements à Mlle. **BENSIDHOUM L.** président du jury et **Mr. ADJEBLI A.** examinateur du jury, pour avoir pris le temps d'évaluer ce modeste travail.

Nous tenons enfin à exprimer notre reconnaissance envers tous ceux de notre entourage, famille et amis, étudiants de notre promotion Biotechnologie pour leur soutien. C'est grâce à vous tous que ce mémoire a été réalisé.

# *Dédicaces*

*Je dédie cet ouvrage*

*A ma maman qui m'a soutenu, encouragé et surtout poussé à poursuivre ces années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.*

*A mon père et mes sœurs, qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail, ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

*A ma tante, qui m'a hébergé pendant toute la période de réalisation de ce travail. A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*A tous ceux que j'aime*

***Menad***

# *Dédicace*

*Je dédie cet ouvrage*

*A mes chers parents qui m'ont soutenue et encouragée durant*

*toutes ces années d'études.*

*A Toute ma famille et ceux qui me sont chers*

*A Tous mes amis.*

*Djillali*

## Liste des tableaux

tableau	Titre	Page
<b>Tableau 1</b>	Liste de quelques genres appartenant à la famille des solanacées et leur répartition géographique naturelle	3
<b>Tableau 2</b>	Les dix principaux pays producteurs de pomme de terre entre 1994-2020	6
<b>Tableau 3</b>	Principaux pays producteurs de latomateen 2020(en tonnes)	8
<b>Tableau 4</b>	Évolution dela superficie, production et rendement delatomateenAlgérie entre 2010-202 0	9
<b>Tableau 5</b>	Évolution dela superficie, production et rendement de l'aubergine dans le monde entre2010-2020	10
<b>Tableau 6</b>	Évolution dela superficie, production et rendement du poivron dans le monde entre2010-2020	12
<b>Tableau 7</b>	Exemples de ravageurs attaquant la culture des solanacées	14
<b>Tableau 8</b>	Exemple de maladies touchant les cultures des solanacées	16
<b>Tableau 9</b>	Classification de <i>Phytophthora Infestans</i>	23
<b>Tableau 10</b>	Symptômes du mildiou sur Tomate	28
<b>Tableau 11</b>	Symptômes du mildiou sur Pommes de terre	29

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Productions et superficies dédiés à la culture de la pomme de terre en Algérie entre 2010-2020	7
<b>Figure 2</b>	Répartition de la production de la tomate dans le monde	8
<b>Figure 3</b>	Productions et superficies dédiées à la culture de l'aubergine en Algérie entre 2010 et 2020	11
<b>Figure 4</b>	Productions et superficies dédiées à la culture du poivron en Algérie en 2010 et 2020	12
<b>Figure 5</b>	Chemins suggérés de migration des anciennes lignées de <i>Phytophthora infestans</i> à travers le monde	20
<b>Figure 6</b>	Cycle de vie sexuée et asexuée de <i>Phytophthora infestans</i>	25
<b>Figure 7</b>	Structures reproductives de <i>Phytophthora</i> . Les sporanges asexués (A), les zoospores (B) et les chlamydospores (C) et les oospores sexuelles (D)	27
<b>Figure 8</b>	Mécanismes d'action des agents de lutte biologique	36
<b>Figure 9</b>	Phénomène de mycoparasitisme chez <i>Trichoderma</i>	38
<b>Figure 10</b>	Stratégies employés lors de la lutte intégrée	39

## Table de matière

<b>Introduction :</b> .....	1
<b>Chapitre I : La culture des solanacées.</b>	
1 Généralités :.....	3
1.1 Origine des solanacées :.....	3
1.2 Taxonomie des solanacées :.....	4
1.3 Description botanique.....	5
1.3.1 Appareil végétatif :.....	5
1.3.2 Appareil reproducteur :.....	5
2 Importance de la culture des solanacées :.....	5
2.1 Importance économique :.....	5
2.1.1 Production de la pomme de terre :.....	6
2.1.2 Production de la tomate :.....	7
2.1.3 Production de l'aubergine :.....	9
2.1.4 Production du poivron :.....	11
2.2 Importance alimentaire :.....	13
2.3 Importance médicinale :.....	13
3 Problèmes phytosanitaires retrouvés chez la culture des solanacées.....	14
<b>Chapitre II : Impact du mildiou</b>	
1 Historique :.....	19
2 Impact et importance du Mildiou :.....	20
3 Description de l'agent pathogène <i>P. infestans</i> .....	21
4 Taxonomie :.....	22
5 Caractéristiques génétiques de <i>Phytophthora infestans</i> .....	23
6 Evolution des populations de <i>Phytophthora infestans</i> .....	24
7 Cycle biologique de <i>Phytophthora infestans</i> .....	25
7.1 Reproduction sexuée :.....	25
7.2 Reproduction asexuée :.....	26
8 Les symptômes du mildiou.....	27

9	Diagnostic .....	29
10	Pouvoir pathogène de <i>Phytophthora infestans</i> .....	30
10.1	Enzymes et protéines .....	30
10.2	Les PAMPs et effecteurs .....	31

### **Chapitre III : Méthodes de lutte contre le mildiou.**

1	Pratiques culturales .....	32
2	Lutte chimique .....	33
3	Lutte génétique .....	34
4	Lutte biologique : .....	35
5	Protection intégrée .....	38
	<b>Conclusion :</b> .....	41

### **Références Bibliographiques**

# *Introduction*

## **Introduction**

Les solanacées sont considérées comme l'une des cultures les plus importantes, car d'une part, elles comprennent de nombreuses cultures vivrières essentielles à l'alimentation humaine comme la tomate (*Solanum lycopersicum L.*) et la pomme de terre (*Solanum tuberosum L.*), qui joue un rôle prépondérant dans l'alimentation quotidien des populations et occupe une grande importance économique dans le monde, d'autre part, elles comprennent des espèces riches en métabolites secondaires qui pourraient être utilisés en médecine ou en formulation de médicaments ainsi que des nutraceutiques et des compléments alimentaires (Añibarro-Ortega et al., 2022; Motti, 2021).

En Algérie, la pomme de terre et la tomate sont les principales cultures maraichères, elles occupent une place importante dans l'économie nationale, 175776 hectares leurs sont consacrés en 2020, générant une production de 6.2 millions tonnes avec un rendement de 933391 hg/ha (FAO, 2022).

Les solanacées sont attaquées par de nombreuses maladies causées par différents agents pathogènes tels que les bactéries, champignons et virus ainsi que les ravageurs. Le plus dévastateur d'entre eux est le mildiou causé par l'oomycète *Phytophthora infestans* une espèce hétérothallique avec deux types d'accouplement A1 et A2, et qui constitue l'un des principaux agents pathogènes affectant le secteur agricole. Le mildiou touche le plus souvent les cultures de la pomme de terre et de la tomate étant d'une grande importance agricole et cause d'énormes pertes de récoltes annuelles, ce qui conduit à d'importantes pertes économiques à l'échelle mondiale (Fry, 2008; Ivanov et al., 2021).

La gestion de cette maladie nécessite toutefois de recourir à diverses stratégies de lutte, impliquant notamment des méthodes basées sur les pratiques culturales, la lutte chimique, lutte génétique et biologique. Une approche unique n'est pas suffisamment efficace, par conséquent, combiner les approches de manière intégrée est essentiel pour lutter contre cette maladie (Sharma and Lal, 2022).

C'est dans ce contexte que s'insère notre travail bibliographique dont l'objectif est de faire le point sur la situation du mildiou, une des maladies les plus redoutés par les agriculteurs et d'évaluer son impact sur la culture des solanacées, et pour mener à bien ce travail, nous l'avons divisée en trois chapitres, répartis comme suit :

**Chapitre 1 : La culture des solanacées**

Ce premier chapitre traite des connaissances générales et actuelles sur la culture des solanacées et de son importance dans le monde et en Algérie ainsi que les problèmes phytosanitaires qui touchent cette famille.

**Chapitre 2 : l'impact du mildiou (*Phytophthora infestans*) sur la culture des solanacées**

Dans ce deuxième, il sera question de parler de cette pathologie et son impact sur la culture des solanacées.

**Chapitre 3 : Les méthodes de contrôle pour lutter contre le mildiou**

Ce troisième chapitre est consacré pour décrire les différentes stratégies mise en place pour lutter contre ce phytopathogène.

*Chapitre I*  
*La culture des solanacées*

## Chapitre I : La culture des solanacées

### 1 Généralités

#### 1.1 Origine des solanacées

Le centre d'origine et de diversité de la majorité des solanacées est concentré en Amérique du Sud et en Amérique centrale (Ara et al., 2011), mais certains genres sont natifs des différents continents de l'ancien monde. Le genre *Solanum* qui comporte le plus grand nombre d'espèces, présente donc la plus grande dispersion géographique (Tableau 1).

**Tableau 1** : Liste de quelques genres appartenant à la famille des solanacées et leur répartition géographique naturelle (Marchoux et al., 2008).

Genres	Nombre d'espèce	Répartition géographique d'origine
<i>Atropa</i>	5	De l'Asie mineure jusqu'à l'Europe
<i>Browallia</i>	3	Amérique du sud
<i>Brugmansia</i>	5	Amérique du sud
<i>Brunfelsia</i>	45	Amérique tropical
<i>Capsicum</i>	25	Amérique tropical
<i>Cestrum</i>	25	Amérique tropical
<i>Chamaesaracha</i>	175	Amérique du nord central
<i>Cyphomandra</i>	10	Amérique tropical
<i>Datura</i>	50	Amérique tropical
<i>Dubiosia</i>	3	Australie
<i>Hyoscyamus</i>	20	De la chine jusqu'à l'Europe
<i>Juanulloa</i>	9	Amérique du sud
<i>Lycium</i>	75	Répartition mondiale zone tempérées
<i>Lycopersicon</i>	9	Ouest de l'Amérique du sud
<i>Margaranthus</i>	1	Amérique centrale
<i>Nicandra</i>	1	Amérique du sud (Pérou)
<i>Nicotiana</i>	95	Amérique du nord, centrale et du sud
<i>Nierembergia</i>	36	Amérique du sud
<i>Putunia</i>	40	Amérique du sud
<i>Physalis</i>	75	Amérique du nord, central et du sud jusqu'à l'Asie de l'est
<i>Physochlaina</i>	9	Chine
<i>Salpichroa</i>	15	Amérique du sud
<i>Salpiglossis</i>	2	Amérique du sud
<i>Saracha</i>	3	Amérique du sud
<i>Schizanthus</i>	12	Amérique du sud
<i>Scopilia</i>	5	De la chine jusqu'à l'Europe
<i>Solanum</i>	1000	Principalement Amérique du sud
<i>Streptosolen</i>	1	Amérique du sud
<i>Withania</i>	10	Afrique du nord, inde et l'ouest et du nord-ouest

## **1.2 Taxonomie des solanacées**

Les solanacées sont classées parmi les Solanales avec les *Convolvulaceae*, les *Hydroleaceae*, les *Montiniaceae* et les *Sphenocleaceae* (Olmstead et al., 2008). Ils sont une famille cosmopolite de plante regroupant, près de 98 genres et plus de 2700 espèces, dont la tomate (*Solanumlypocopersicum L*), la pomme de terre (*Solanumtuberosum*), le tabac (*Nicotina tabacum*) et le piment (*Capsicum*). Il existe 25 à 30 espèces connue dans le genre *Capsicum* dont 5 ont été domestiqué (Badr et al., 1997; Bohs, 2007; Bohs and Olmstead, 1997).

La classification formelle finale a été proposée par Hunziker (2001). Les auteurs ont identifié 6 sous-familles (Cestroideae, Juannulloideae, Solanoideae, Salpiglossideae, Schizanthoideae et Anthocercidoideae), 27 tribus et 92 genres, excluant 15 genres. La principale réalisation de cette taxonomie est une analyse morphologique complète de tous les genres, révélant des caractéristiques inconnues de nombreux taxons. Il a également fourni des preuves palynologiques, caryotypiques et phytochimiques pour étayer son système. La forme des graines, les caractéristiques des cotylédons et l'estivation de la corolle sont les principales caractéristiques utilisées pour diviser les sous-familles. D'un point de vue phylogénétique, le système Hunziker identifie de nombreux groupes non monophylétiques (sous famille. Cestroideae, tribu Salpiglossidae, tribu Solaneae, etc.) (Barboza et al., 2016; Eich, 2008).

L'analyse phylogénétique des solanacées a tranché sur une relation générique et ont fournit une base pour la révision de la classification des solanacées. Quatre clades (variants) majeurs ont été identifiés au niveau de la sous-famille et 14 clades majeurs ont été identifiés au niveau de la tribu, environ 100 genres et 2500 espèces (Motti, 2021; Olmstead and Bohs, 2007).

La Classification récente des sous familles des solanacées est illustrée ci-dessous (Motti, 2021)

Sous-famille Schizanthoideae

Sous-famille Goetzeoideae

Sous-famille Duceodendroideae

Sous-famille Cestroideae

Sous-famille Salpiglossideae

Sous-famille Petunioideae

Sous-famille Nicotianoideae

Sous-famille Anthocercidea

### **1.3 Description botanique**

#### **1.3.1 Appareil végétatif**

La famille des solanacées présente une grande variété d'habitats, elle comprend généralement des herbes et des arbustes, mais aussi des arbres, des lianes et parfois des plantes épiphytes. Elles peuvent être annuelles, bisannuelles ou vivaces. Des tubercules souterrains sont parfois présents, certaines espèces peuvent avoir des trichomes étoilés (Motti, 2021).

Les feuilles sont généralement alternes, simples, sans stipules, mais la taille et la forme varie considérablement au sein de la famille (Glimn-Lacy and Kaufman, 2006). Quelques genres ou espèces ont des feuilles composées-pennées (Marchoux et al., 2008).

#### **1.3.2 Appareil reproducteur**

Les fleurs sont solitaires ou réunies en cymes, implantées de façon axillaire ou terminale et sont bisexuée et actinomorphe. Le calice est généralement pentalobé, persistant et gonflé ou non après l'anthèse. La corolle est rotée, campanulée ou en forme d'entonnoir, et généralement à 5 lobes. Les étamines sont isomères avec les lobes de la corolle et généralement insérées sur le tube de la corolle (Xu and Chang, 2017). Le Gynécée est à orientation oblique (sauf *Nicandra*), généralement bicarpellé, 3–5-carpellé chez *Jaborosa*, *Nicandra*, *Trianaea*, et jusqu'à 30-carpellé chez *Nolana*, tandis que l'ovaire est généralement supère, bicarpellé et biloculaire (Barboza et al., 2016).

Les types de fruit les plus courants chez les solanacées sont les baies ou les capsules, et les moins fréquents sont les drupes, schizocarpes et les dicésiums. Les graines sont généralement avec des endospermes (Hegnauer, 1973; Knapp, 2002).

## **2 Importance de la culture des solanacées**

### **2.1 Importance économique**

Les solanacées sont très importantes sur le plan économique. Les tomates, les pommes de terre, les poivrons, les aubergines ... sont largement cultivés pour la consommation humaine et en industrie (Bohs and Olmstead, 1997).

### **2.1.1 Production de la pomme de terre**

#### **Dans le monde**

La pomme de terre, troisième plus importante denrée cultivée au monde. Elle est cultivée dans 150 pays sur plus de 20 millions d'hectares, pour une production mondiale qui s'établissait en 2020 à 359 millions de tonnes et elle joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial dans le tableau ci-dessous qui représentent les principaux pays producteurs de pomme de terre, on constate que c'est la chine qui occupe la première place avec une production annuelle 96136320 tonnes suivie par l'inde avec un important écart en quantité produite qui est de 46395000 tonnes puis la Russie en 3ème place avec une production de 31501354 tonnes par année. L'Algérie ne figure pas dans ce top 10, des dix pays producteurs cependant elle dispose d'une production annuelle allant jusqu'à 4.782.690 tonnes (FAO, 2022).

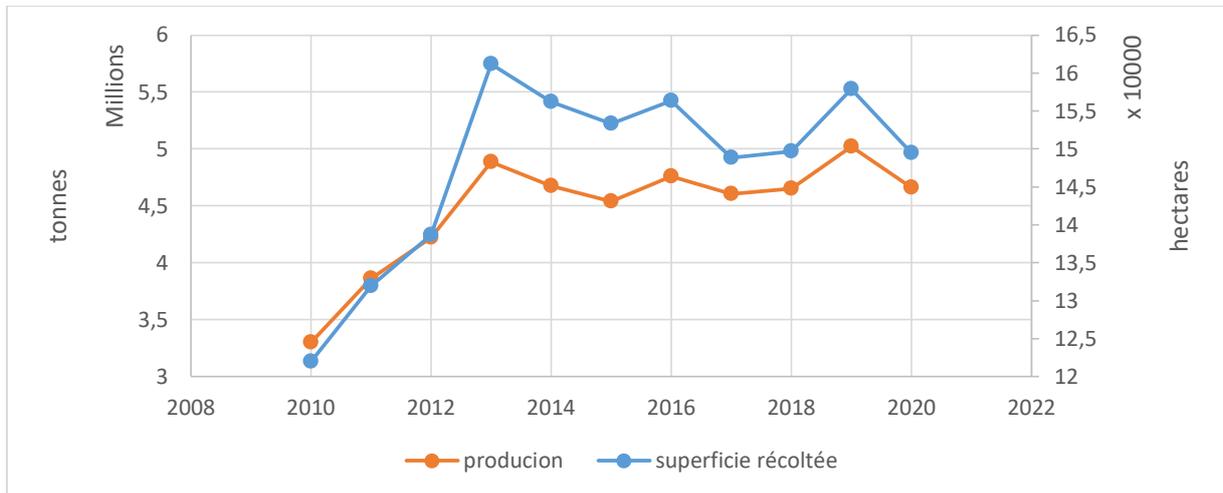
**Tableau 2** : Les dix principaux pays producteurs de pomme de terre entre 1994-2020 (FAO, 2022).

<b>Pays</b>	<b>Quantité produite (t)</b>
Chine	96136 320
Inde	46395000
Russie	31501354
Usa	23693350
Ukraine	20056500
Pologne	11607300
Allemagne	9435150
Biélorussie	8054500
Pays-Bas	7689180
France	7 100 258

#### **En Algérie**

L'introduction de la pomme de terre en Algérie remonte au milieu de la première décennie du dix-neuvième siècle selon les historiens. Elle a été cultivée principalement pour l'exporter vers le marché français. Après l'indépendance, elle est devenue un produit essentiel pour la

consommation locale, et elle est devenue de plus en plus importante dans le régime alimentaire. La culture de la pomme de terre est parmi les principales cultures maraichères, en termes de superficie et de production. La production nationale durant la dernière décennie (2010-2020) a augmenté de 3 300 312 tonnes en 2010 à 4 659 482 tonnes en 2020 pour une augmentation de la surface cultivée de 121 996 hectares en 2010 à 149 465 hectares en 2020, l'accroissement du rendement passe de 27.05 tonnes/hectare en 2010 à 31.17 tonnes/hectare en 2020 (FAO, 2022).

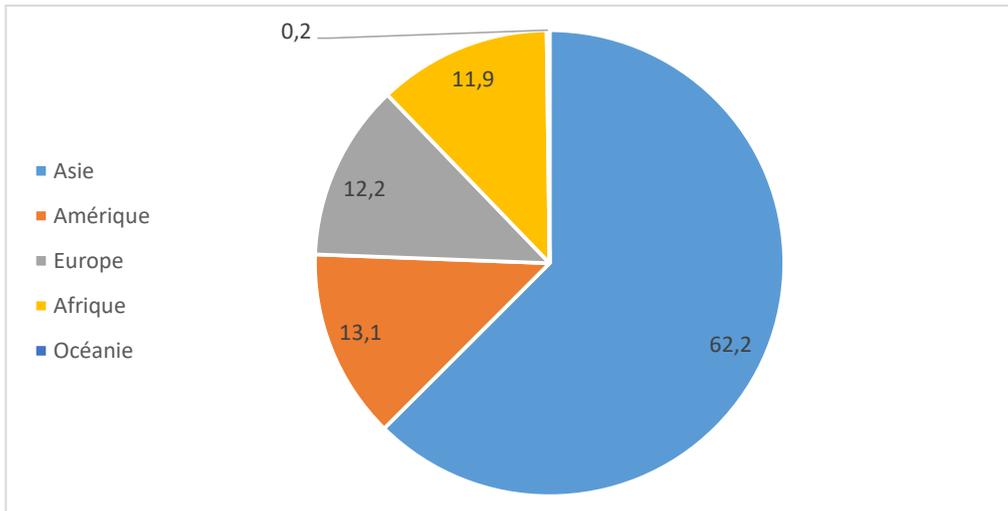


**Figure 1** : Productions et superficies dédiés à la culture de la pomme de terre en Algérie entre 2010-2020(FAO, 2022).

## 2.1.2 Production de la tomate

### Dans le monde

La consommation de tomates a considérablement augmenté ces dernières années et sa production mondiale annuelle connaît une progression régulière, et elle est estimée actuellement à 186 millions de tonnes, dont la production est répartie comme suit : 62.6% en Asie, 13.1% en Amérique, 12.2% en Europe, 11,9% en Afrique et 0.2% en Océanie (FAO, 2022).



**Figure 2:** Répartition de la production de la tomate dans le monde 2020 (FAO,2022).

La plante est cultivée sous serre et en plein champ, sur une superficie d'environ 5,05 millions d'hectares, ce qui présente près d'un tiers (1/3) des surfaces mondiales cultivées consacrées aux légumes (FAO,2022). L'essentiel de la production mondiale est concentré dans quelques pays dont la très grande productivité provient des perfectionnements techniques employés ainsi que des quantités importantes de plants en culture. Les dix principaux pays producteurs pour l'année 2020 sont repris dans le Tableau 03, comme on peut le constater c'est la Chine qui occupe la première position du classement avec une production s'élevant à 64 768 158 tonnes, suivi de l'Inde et la Turquie qui se positionne en troisième place (FAO,2022).

**Tableau 3:** Principaux pays producteurs de la tomate en 2020 (en tonnes) (FAO, 2022).

Pays	Quantité produites (t)
Chine	64 768 158
Inde	20 573 000
Turquie	13 204 015
Usa	12 227 402
Egypte	6 731 220
Italie	6 247 910
Iran	6 247 910
Espagne	5 787 094
Mexique	4 137 342
Brésil	3 753 595

## **En Algérie**

La tomate occupe une place très importante dans l'économie nationale, sa production s'est d'ailleurs établie à 1635616 tonnes pour l'année 2020 comme l'indique le tableau ci-dessous (Tableau 4). On remarque donc une nette augmentation de la production mais aussi de la superficie dédiée à la culture de la tomate au fil des années avec une superficie qui est passée de 21354 hectares en 2010 à 26311 hectares en 2020 (FAO, 2022).

Par ailleurs, les plus grandes wilayas productrices de la tomate fraîche sont Skikda avec une production de 4,2 millions de quintaux, suivi de El-tarf avec une production de 3,3 millions de quintaux, et de Guelma avec 3 millions de quintaux (M.A.D.R 2019).

**Tableau 4 :** Évolution de la superficie, production et rendement de la tomate en Algérie entre 2010-2020 (FAO, 2022).

<b>Année</b>	<b>Superficie (hectares)</b>	<b>Production (tonne)</b>	<b>Rendement (hg/ha)</b>
<b>2010</b>	21354	718235	336284
<b>2011</b>	20575	771606	375021
<b>2012</b>	21542	796963	369958
<b>2013</b>	22497	975075	433424
<b>2014</b>	22646	1065609	470551
<b>2015</b>	24065	1163766	483593
<b>2016</b>	22556	1280570	567729
<b>2017</b>	23977	1286286	536467
<b>2018</b>	22323	1309745	586724
<b>2019</b>	24996	1477878	591246
<b>2020</b>	26311	1635616	621647

### **2.1.3 Production de l'aubergine**

#### **Dans le monde**

L'aubergine (*Solanum melongena*) également connue dans son pays d'origine l'Inde sous le nom brinjal où elle a été domestiquée il y a longtemps, elle est largement cultivée dans les

pays tempérés et tropicaux d'Asie. L'aubergine est également une culture courante au Moyen-Orient et autour du bassin méditerranéen et est maintenant cultivée sur tous les continents (Daunay, 2008).

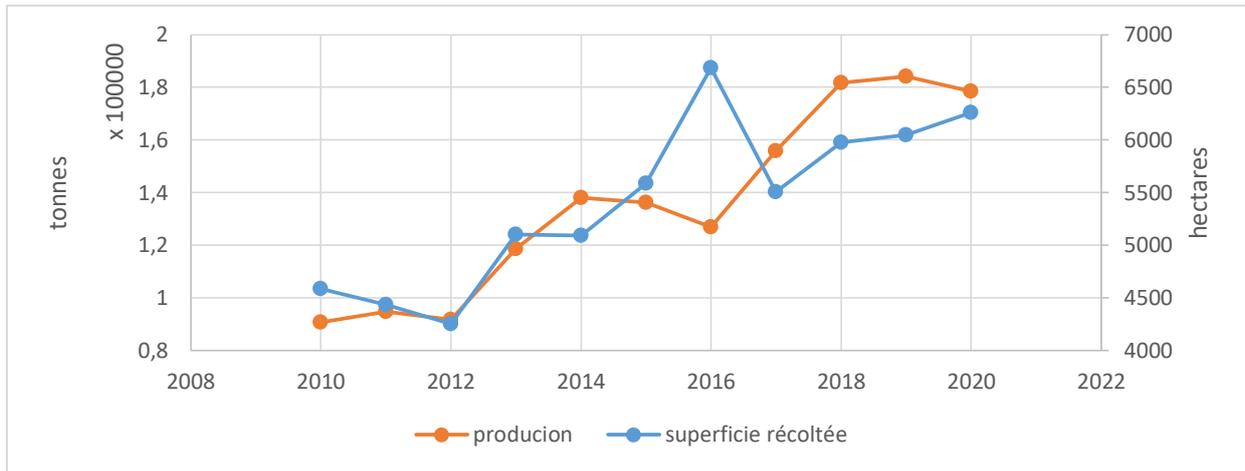
La production d'aubergine n'a cessé d'augmenter dans le monde ces dernières années atteignant une production de 56 millions de tonnes en 2020 contre 44 millions en 2010 et elle se répartie sur le monde avec une prédominance pour le continent asiatique : 93,9 % en Asie, suivi de 3.6 % pour le continent Africain, 1.8 % pour l'Europe et 0.6 % en Amérique (FAO, 2022).

**Tableau 5 :** Évolution de la superficie, production et rendement de l'aubergine dans le monde entre 2010-2020 (FAO, 2022).

Année	Superficie (hectares)	Production (tonnes)	Rendement (hg/ha)
2010	1717724	44072481	256575
2011	1752552	45011687	256835
2012	1803483	46946660	260311
2013	1854441	48885901	263615
2014	1859763	50072377	269241
2015	1790057	50764902	283594
2016	1782236	51679760	289971
2017	1849441	52882755	285939
2018	1844211	45122239	293471
2019	1846564	55376521	299890
2020	1876710	56618843	301692

### **En Algérie**

Les wilayas les plus productrices d'aubergine sont Biskra avec une production de 388 745 quintaux suivi de Mostaganem avec une production de 329 165 quintaux, et de Laghouat avec 243 258 quintaux (M.A.D.R, 2019). La production nationale d'aubergine était assez faible en 2010 quelques 900000 tonnes ont été récoltées pour une superficie de 4600 hectares puis en 2020 la production a carrément doublée atteignant les 1.8 millions de tonnes pour une superficie récoltée de 6400 hectares (FAO, 2022).



**Figure 3:** Productions et superficies dédiées à la culture de l’aubergine en Algérie entre 2010-2020 (FAO, 2022).

### 2.1.4 Production du poivron

#### Dans le monde

Le poivron étant à la fois un légume et une épice, est devenu rapidement un ingrédient important d’une variété de cuisine dans le monde. Sa production et sa consommation a beaucoup augmenté au cours du XX siècle. Cela se reflète dans les vastes superficies consacrées à sa production dans des pays comme l’Inde, le Mexique, la Chine, la Corée et les États-Unis (Crosby, 2008).

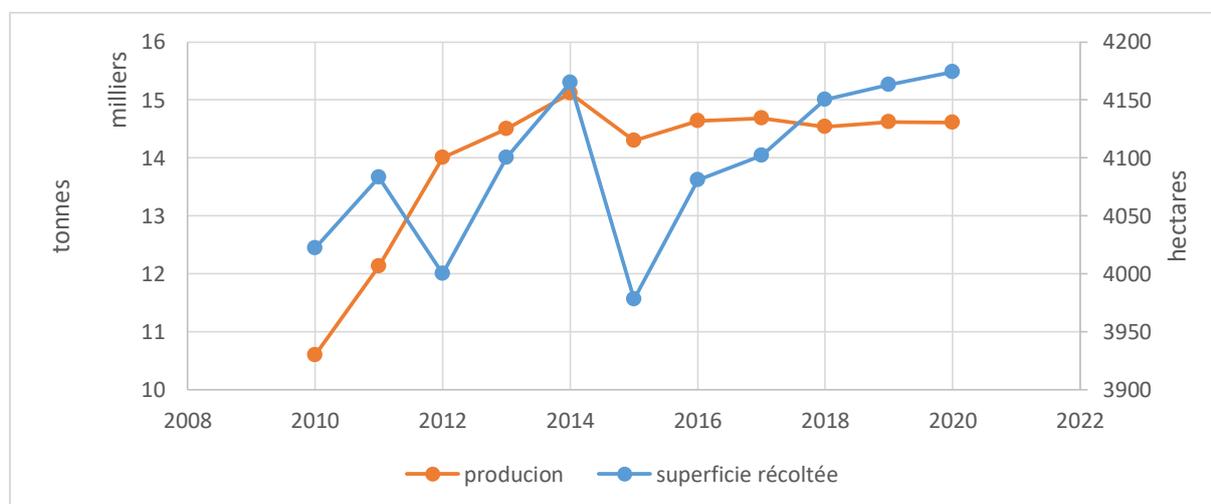
Le poivron a connu une évolution progressive au cours du temps en termes de production mondiale en enregistrant une quantité de 3 086 700 tonnes en 2010 pour atteindre une valeur de tonnes en 4 566 908 en 2018. Cette progression est en rapport direct avec l’élévation des superficies cultivées qui ont atteint 1 823 867 hectares en 2017. La production du poivron a montré une diminution entre 2018 et 2020 qui s’accompagne de baisse de superficie cultivées (FAO,2022).

**Tableau 6:**Évolution de la superficie, production et rendement du poivron dans le monde entre 2010-2020 (FAO, 2022)

Année	Superficie (hectares)	Production (tonnes)	Rendement (hg/ha)
2010	1655618	3086700	18644
2011	16551887	3185804	19247
2012	1709440	3375225	19745
2013	1679997	3581553	21319
2014	1677946	3710344	22112
2015	1723254	4020808	23333
2016	1820625	3950891	21701
2017	1823867	4491676	24627
2018	1700420	4566908	26858
2019	1708021	4126782	24161
2020	1615140	4157205	25739

### En Algérie

La production nationale du poivron a atteint 14613 tonnes en 2020, la superficie réservée à cette culture (sous serre et plein-champ) a été de 4174 hectares, pour l'année 2010 celle-ci était de 10598 tonnes pour 4022 hectares de superficie cultivée, on observera dans la figure ci-dessous que la production a augmenté progressivement pour atteindre 15000 tonnes l'année 2014 puis on le voit se stabiliser aux alentours des 14000 tonnes pour les années qui suivront (FAO.2022).



**Figure 4:** Productions et superficies dédiées à la culture du poivron en Algérie entre 2010-2020 (FAO, 2022).

Les plus grandes wilayas productrices du poivron en 2019 sont Biskra avec une production de 867,535 quintaux suivi de Mostaganem avec une production de 456,450 quintaux et Tipaza avec 285,800 quintaux. (M.A.D.R 2019).

## **2.2 Importance alimentaire**

Par rapport à la grande taille de la famille, seuls quelques membres des solanacées ont atteint une importance dans les civilisations humaines en tant que sources de nourriture (pomme de terre, tomate, poivron, aubergine)(Gebhardt, 2016) .

La tomate tient une place importante dans l'alimentation humaine. Elle est consommée soit crue, soit cuite, ou comme un produit transformé tels que le jus de fruits, les sauces, le Ketchup et les conserves. Le fruit est riche en antioxydants,lycopène, bêta-carotène, folate, vitamines E et C, fibres et sels minéraux (potassium ,phosphore, potassium) (Willcox et al., 2003).

La pomme de terre est une source de vitamines et de minéraux, tels que la vitamine C, le potassium, la vitamine B5 et, de magnésium, de phosphore, de fer et de zinc(Fogelman et al., 2019). Les nutritionnistes affirment que sa valeur nutritionnelle est si grande qu'elle peut être le seul aliment humain pendant un certain temps, sans nuire à la santé (Wichrowska et al., 2022).

## **2.3 Importance médicinale**

Les familles des solanacées contiennent une gamme variée d'alcaloïdes et comprennent la scopolamine, l'atropine et l'hyoscyamine. La présence de ces alcaloïdes rendent cette famille importante sur le plan médical (Shah et al., 2013).Les alcaloïdes figurent parmi les principes actifs les plus importants en pharmacologie et médecine (Raven et al., 2000).Ce sont des substances organiques azotées, et ils constituent des sources importantes de médicaments(Neelabh, 2022). Les alcaloïdes sont utilisées comme antalgiques, antipaludiques, anti arythmiques, vasodilatateurs et ce sont également des agents de traitement de la maladie d'Alzheimer (McCalley, 2002).

### 3 Problèmes phytosanitaires retrouvés chez la culture des solanacées

Les cultures des solanacées, notamment les tomates, les poivrons, les aubergines et les pommes de terre sont la cible de nombreuses maladies parasitaire et non parasitaires qui affectent différentes parties de ces plantes (feuilles, tiges, racine, tubercules) et qui causent d'importants dégâts quantitatifs et qualitatifs. Ces maladies sont provoquées par divers agents pathogènes tels que les virus, les bactéries et les champignons, ainsi que de nombreux ravageurs qui tuent les plantes directement en les mangeant (pyrale de la pomme de terre, limaces), propageant des maladies virales (pucerons), défoliant (doryphore), enlevant la sève (cicadelles) ou en attaquant les tubercules causant des pertes de rendements (nématodes) (Howard et al., 1994; McKinlay et al., 1992; Pfeufer and Leonberger, 2016). Quelques exemples de ces maladies et leurs agents causaux sont représentés dans les tableaux 7 et 8.

**Tableau 7:** Exemples de ravageurs attaquant la culture des solanacées (INRA).

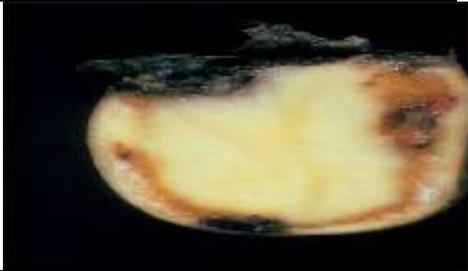
Ravageurs	Symptômes	Images
Nématodes à galles racinaires <i>Meloidogyne spp</i>	Une croissance plus ou moins réduite. Le feuillage peut être chlorotique.	
Nématodes à kystes ( <i>Globodera spp</i> )	Peuvent être visibles à l'œil nu pendant la végétation sous forme de petites boules (kystes) de très petite taille (0,5 à 1 mm) attachées aux racines de la plante.	

<p>Acariens <i>Polyphagotarsonemus latus</i></p>	<p>Déformations foliaires plutôt marquées et spectaculaires, les bourgeons et les jeunes feuilles étant particulièrement déformés.</p>	
<p>Limaces <i>(Arion hortensis)</i></p>	<p>La détérioration de la qualité des tubercules, du fait des galeries creusées dans la chair.</p>	
<p>Thrips <i>(Frankliniella occidentalis Pergande)</i></p>	<p>Des lésions argentées, de taille et de forme irrégulières, apparaissent sur le limbe.</p>	
<p>Doryphore <i>(Leptinotarsa decemlineata)</i></p>	<p>Défoliation de la culture de pommes de terre et limitation de la tubérisation.</p>	
<p>Myriapodes <i>(Scutigere llaimaculata)</i></p>	<p>Diminution du couvert végétal voire des manques à la levée. (Résulte de la réduction du système racinaire par les morsures).</p>	

**Tableau 8** : Exemple de maladies touchant les cultures des solanacées(Arora and Khurana, 2004; Blancard et al., 2009; Howard et al., 1994; Prohens and Nuez, 2008).

Maladies	Agents causals	Symptômes
<b>Maladies virales</b>		
Alicot(Virus de la mosaïque de la luzerne)	Alfalfa mosaic virus	
Le virus de l'enroulement de la pomme de terre	Potato leaf roll virus	

<p>Virus de la mosaïque de la tomate</p>	<p>Tomato mosaic virus</p>	
<p>Virus de la chlorose de la tomate</p>	<p>Tomato chlorosis virus</p>	
<p>Virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate</p>	<p>Tomato yellow leaf curl virus</p>	
<p><b>Maladies bactériennes</b></p>		
<p>Chancre bactérien</p>	<p><i>Clavibactermichiganensis</i> subsp. <i>Michigans</i></p>	
<p>Moucheture bactérienne</p>	<p><i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>Tomato</i></p>	
<p>Gale bactérienne</p>	<p><i>Xanthomonas</i> spp</p>	

Flétrissement bactérien	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i>	
Jambe noire	<i>Pectobacterium atrosepticum</i> <i>Pectobacterium carotovorum</i>	
<b>Maladies fongiques</b>		
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i>	
Fusariose	<i>Fusarium</i> spp	
Alternariose	<i>Alternaria solani</i> Sorauer	
	<i>Alternaria tomatophila</i>	

Gale poudreuse	<i>Spongoporasubterranea</i>	
Oïdiumexterne	<i>Oidium neolycopersici</i>	

Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire nous avons axé notre travail sur une maladie fongique qui touche la culture de solanacées et qui très connue par les agriculteurs, cette maladie n'est autre que le Mildiou provoqué par *Phytophthora infestans*. Ce pathogène est l'un des champignons les plus dévastateurs particulièrement chez cette culture qui est assez essentiels pour la sécurité alimentaire dans le monde, et il fait partie des maladies les plus difficile a contrôlé sur le terrain.

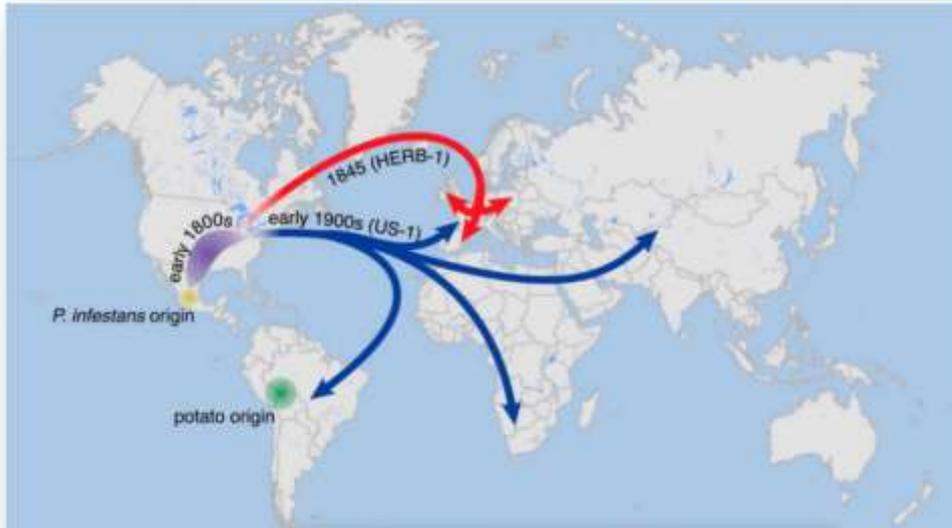
***Chapitre II***  
***Impact du mildiou***

## **Chapitre II : Impact du mildiou**

### **1 Historique**

Le XIX siècle et les premières années du XX siècle ont été marqués par l'introduction en Europe de plusieurs maladies cryptogamiques ou insectes ravageurs des cultures en provenance du continent américain. C'est d'abord la maladie de la pomme de terre qui apparaît en Europe entre 1840 et 1845 (Foëx, 1924). Le mildiou n'est apparu en Europe et en Amérique du Nord qu'au milieu du XIXe siècle (Andrison, 1996). Plusieurs chercheurs pensent que la maladie du mildiou est originaire du Mexique (Grünwald et Flier, 2005; Jones, 1998), car la diversité génétique de *Phytophthora infestans* est assez importante (Bimšteine, 2008). Les dernières recherches de (Gómez-Alpizar et al., 2007) démontrent quant à elles que l'origine du mildiou se situe en Amérique du sud plus précisément dans les Andes. La propagation de la maladie s'est faite en plusieurs étapes (Figure 5). En 1845, la botaniste et mycologue belge Marie-Anne Libert, réussit la première à identifier le champignon responsable de « la maladie de la pomme de terre » (le mildiou), qu'elle appela *Botrytis vastatrix* Lib. et dont elle donna une description détaillée dans un mémoire rédigé en août 1845 (Michel et Claud, 2003).

S'appuyant sur les travaux de la botaniste belge, le mycologue allemand, Anton de Bary démontra en 1876 que ce champignon, qu'il renomma *Phytophthora infestans*, était bien la cause du mildiou, et non sa conséquence comme on le pensait encore à l'époque. Alors que les premières épidémies en Europe remontent à 1845, le mildiou de la pomme de terre est aujourd'hui quasi mondial. L'épidémie a commencé en Belgique, puis s'est propagée à travers la Suisse, la France et le sud de l'Angleterre jusqu'en Irlande, où elle a provoqué une catastrophe alimentaire sans précédent : entre 1846 et 1851, une famine provoquée par un manque de pomme de terre a fait plus d'un million de morts, et plus d'un millions d'émigrés d'irlandais vers le continent américains (Hampson, 1992).



**Figure 5:** Chemins suggérés de migration des anciennes lignées de *Phytophthora infestans* à travers le monde (Yoshida et al., 2013).

## 2 Impact et importance du Mildiou

Le mildiou s'est probablement propagé dans le monde entier par son association avec des semences de pomme de terre faisant l'objet d'un commerce international (Fry, 1993). C'est un obstacle majeur à la production de pommes de terre dans les hautes altitudes humides ; avec des pertes de rendement moyennes estimées d'environ 30 à 75 % sur les variétés sensibles (Olanya et al., 2001). En Ethiopie, la maladie a causé 100% de perte de récolte sur un cultivar local non amélioré et 67,1% sur une variété sensible (Guchi, 2015). Dans les régions tempérées d'Amérique du Nord, le mildiou de la pomme de terre a causé d'énormes répercussions économiques pendant de nombreuses années en raison de la perte ou de la destruction des cultures de pommes de terre. Bien que le mildiou ait été trouvé sur les pommes de terre depuis 1953, il n'a pas été signalé qu'il constitue une menace sérieuse pour la culture de la tomate en Inde avant 2007. De graves épidémies de mildiou ont été observées dans l'état du Karnataka au cours des saisons de croissance 2009 et 2010, de juillet à décembre, causant jusqu'à 100 % de pertes de récoltes. (Chowdappa et al., 2013). Le mildiou était également une menace majeure pour la production durable de pommes de terre en Chine, le premier enregistrement de graves pertes causée par ce phytopathogène remonte aux années 1940 (Tian et al., 2016). Dans l'Union Européenne, où sont cultivés près de 6 Mha de

pommes de terre, d'une valeur de près de 6 milliards, le coût des pertes annuelles (coûts de lutte et dégâts) du mildiou causé par *Phytophthora infestans* est estimé à plus de 1 milliard d'euros (Haverkort et al., 2008). Dans le nord-ouest d'Algérie le mildiou a atteint des proportions épidémiques en 2007-2008 en raison de favorables conditions météorologiques. Par conséquent de lourdes pertes de rendement ont été enregistrées, la production de pomme de terre a diminué de 30% au cours de cette période (Rekad et al., 2017).

Dans une évaluation nationale, l'impact économique dans tous les États-Unis a été estimé à environ 210 millions de dollars américains (Guenther et al., 2001). Malgré le potentiel destructeur évident du mildiou, il est extrêmement difficile de mesurer les pertes dues à cette maladie car d'autres facteurs affectent simultanément le rendement en tubercules (Madden, 1983).

Par ailleurs dans un autre registre, parmi les 17 agents pathogènes que les États-Unis ont étudiés comme armes biologiques potentielles, on trouve le mildiou de la pomme de terre. Ce n'est pas seulement les États-Unis qui se sont intéressés au *Phytophthora infestans* comme arme biologique mais également à la France, le Canada, les États-Unis et l'Union soviétique qui ont entamé des recherches dans le domaine dès les années quarante (Suffert et al., 2009).

### 3 Description de l'agent pathogène *Phytophthora infestans*

« Le champignon *Phytophthora infestans*, (Mont. De Bary) a fait l'objet de tant d'enquêtes et de controverses qu'il remplit l'un des chapitres les plus romantiques de l'histoire de la recherche biologique » (Berg, 1926a).

Dans les 120 années qui séparent les recherches d'Heinrich Anton de Bary de celles de la monographie de référence d'Erwin et Ribeiro "*Phytophthora globalis*", environ 100 espèces de *Phytophthora* ont été décrites dans la littérature, dont 58 ont été officiellement reconnues (Cooke et al., 2000; Ellen Michaels and Susan J, 2007). Le nombre d'espèces de *Phytophthora* correctement décrites a presque doublé au cours de la dernière décennie et de nouvelles espèces sont ajoutées presque tous les mois. Cette forte augmentation est due, d'une part, à la disponibilité d'outils d'identification des espèces plus sophistiqués et, d'autre part, à des enquêtes à grande échelle sur la présence de nouvelles espèces de *Phytophthora* dans le milieu naturel et agricole (Kroon et al., 2012).

Le terme *Phytophthora* est composé de deux racines grecques soit : (phyto) signifiant plante et (phthora) signifiant destruction (**Blackwell, 1949**).

Ces oomycètes ont besoin de deux types d'accouplement pour la reproduction sexuée. Jusqu'à la fin des années 1980, il n'y avait qu'un seul type d'accouplement dans les pays autres que le Mexique. Depuis lors, les deux types d'accouplement ont été largement distribués dans la plupart des pays, de sorte que de nouvelles souches de l'agent pathogène sont apparues. Certaines nouvelles souches sont plus agressives que les anciennes et les remplacent rapidement (**Agrios, 2005**).

*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary provoque le mildiou de la pomme de terre et de la tomate, c'est un agent pathogène qui ravage ces cultures mais aussi d'autres cultures de solanacées comme le piment, l'aubergine mais aussi le tabac (**Cooke et al., 2000; Lees et al., 2006**).

L'agent pathogène du mildiou a été au début considéré comme un champignon. Mais plus tard, avec la progression des études génétiques on a finalement montré que *P. infestans* est en fait un oomycète. Les oomycètes sont des Stramenopiles et sont donc phylogénétiquement plus proches des algues brunes que des champignons supérieurs. Le génome de *P. infestans* a une taille très importante, de 240 mégabases et sa plasticité peut contribuer à faire émerger de nouveaux traits de virulence (**Raffaele and Kamoun, 2012**).

#### 4 Taxonomie

La taxonomie des espèces de *Phytophthora* est traditionnellement basée sur des caractéristiques morphologiques telles que la taille, le rapport longueur/largeur, la sénescence prématurée des sporanges, ainsi que sur la capacité à produire des oospores (**Hon, 2018**). La classification de *Phytophthora* a évolué de schémas basés sur la morphologie à des clades phylogénétiques basés sur des marqueurs moléculaires, avec de nombreux marqueurs identifiés dans des projets de séquençage. Dix clades majeurs de *Phytophthora* ont été proposés sur la base des séquences des régions d'espacement internes transcrites de la répétition d'ADN ribosomique, puis validés par des phylogénies multi locus basées sur des loci nucléaires et mitochondriaux. De telles analyses ont divisé certains groupes et porté le nombre d'espèces de *Phytophthora* à 120 ou plus, mais *P. infestans* est resté intact en tant que membre du clade 1 (**Judelson, 2014**).

Les *Phytophthora spp.* Appartiennent à la classe des oomycètes, à l'ordre des Peronosporales, à la famille des Pythiaceae et au genre *Phytophthora*(Tableau 9).

**Tableau 9:**Classification de *Phytophthora Infestans*(Ainsworth et al., 2008; Rakotonindraina, 2012).

Classification	Nom
Règne	Stramenopila
Phylum	Oomycota
Classe	Oomycète
Ordre	Peronosporales
Famille	Pythiacées
Genre	<i>Phytophthora</i>
Espèce	<i>Infestans</i>

## 5 Caractéristiques génétiques de *Phytophthora infestans*

C'est en 2009 que le séquençage du génome de *Phytophthora infestans* a été terminé. Ce qui a été constaté est que le génome *Phytophthora infestans* est considérablement plus grand (240 Mégabases) que les autres espèces de *Phytophthora* dont le génome a été étudié auparavant (Dean et al., 2014; Haas et al., 2009). A titre d'exemple le *Phytophthora sojae* possède un génome de 95 Mb et *Phytophthora ramorum* de 65 Mb. Il contient aussi une variété différente de transposons et de nombreuses familles géniques codant des effecteurs (protéines) qui sont impliqués dans les propriétés pathogènes de l'oomycète. Ces protéines sont divisées en deux groupes principaux selon qu'elles sont produites par l'oomycète dans le symplasme (à l'intérieur des cellules végétales) ou dans l'apoplasme (entre les cellules végétales). Les protéines formées dans le symplasme comprennent les protéines RXLR, qui contiennent une séquence arginine-X-leucine-arginine (où X peut être n'importe quelle séquence d'acides aminés) à la terminaison aminée de la protéine. Les protéines RXLR sont des protéines de virulence, ce qui signifie qu'elles peuvent être détectées par la plante et provoquer une réponse hypersensible, tuant l'oomycète (Haas et al., 2009; Whisson et al., 2016).

*Phytophthora infestans* contient environ 60 % de plus de ces protéines que d'autres espèces de *Phytophthora* et cela peut lui permettre de vaincre les défenses de l'hôte plus rapidement. Celles trouvées dans l'apoplasme comprennent des enzymes hydrolytiques telles que les protéases, lipases et glycosylases qui dégradent les tissus des plantes, des inhibiteurs d'enzymes pour la protection contre les enzymes de défense de l'hôte et des toxines nécrosantes. Globalement, le génome a un contenu répétitif extrêmement élevé (environ 74 %) et une distribution des gènes inhabituelle : certaines zones contiennent de nombreux gènes tandis que d'autres en contiennent très peu (Haas et al., 2009).

### 6 Evolution des populations de *Phytophthora infestans*

Les populations de *P. infestans* présentent une capacité à évoluer et à s'adapter rapidement à des changements importants dans des écosystèmes comme par exemple le fait de s'adapter aux méthodes de lutte (Montarry et al., 2008). Au cours de la dernière partie du 20<sup>e</sup> siècle des changements fondamentaux se sont produits dans la plupart des zones géographiques en raison des migrations et l'établissement de population sexuée (Fry et al., 2009; Yuen and Andersson, 2013). Jusqu'à ces dernières décennies la plupart des isolats connus de *P. infestans* étaient de type sexuel A1, la découverte de A2 ne s'est produit qu'au milieu des années 1950 au Mexique lors d'une enquête. À l'époque en dehors du centre du Mexique la plupart des isolats était relativement uniforme, appartenant à un génotype nommé US-1. Les populations d'Afrique, d'Amérique du Nord, d'Amérique du Sud, du nord du Mexique et de certaines parties de l'Asie ont changé depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, mais sont restées principalement clonales, avec des épidémies impliquant généralement un génotype prédominant (Fry et al., 2013; Pule et al., 2013).

Un échantillonnage plus approfondi et l'utilisation de marqueurs d'ADN avec une résolution accrue ont révélé une certaine diversité au sein des lignées « clonales » dans certaines régions géographiques (Delgado et al., 2013). On ne sait pas si cela est issu d'une recombinaison sexuelle limitée, d'une variation spontanée ou de nouvelle introduction. En outre, les populations de *P. infestans* dans certaines parties de l'Europe et de la Chine sont devenues plus sexuées, avec différents génotypes trouvés dans certaines régions (Li et al., 2013, 2012; Yuen and Andersson, 2013). Le cycle sexuel est important car il est possible de développer un génotype plus agressif ou un génotype capable de surmonter le gène R, un exemple notable est la souche A2 'bleu13' qui a été découverte la première fois au Pays-Bas vers 2005 et s'est propagé à la plupart de l'Europe et en Asie (Cooke et al., 2012). Les spores sexuelles

(oospores) elles-mêmes sont également inquiétantes car elles peuvent rester dormantes pendant des années et survivre à des conditions difficiles telles que le gel ou la fumigation. La formation d'oospores dans les champs de pomme de terre est maintenant courante dans certains pays scandinaves et serait responsable de l'émergence d'épidémies au début de la saison de croissance (Widmark et al., 2011).

## 7 Cycle biologique de *Phytophthora infestans*

Les principales phases du cycle de développement de *P. infestans* sont présentées sur la figure suivante, il présente deux formes de reproduction, asexuée et sexuée.

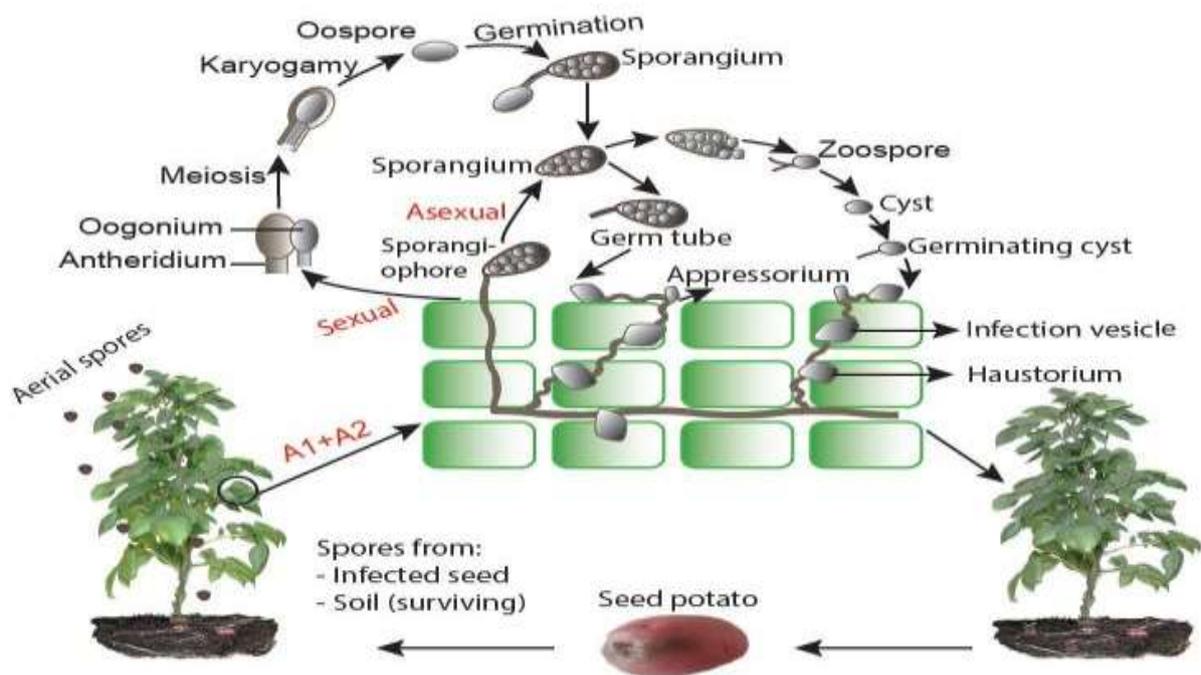


Figure 6 : Cycle de vie sexuée et asexuée de *Phytophthora infestans* (Kibrom, 2017).

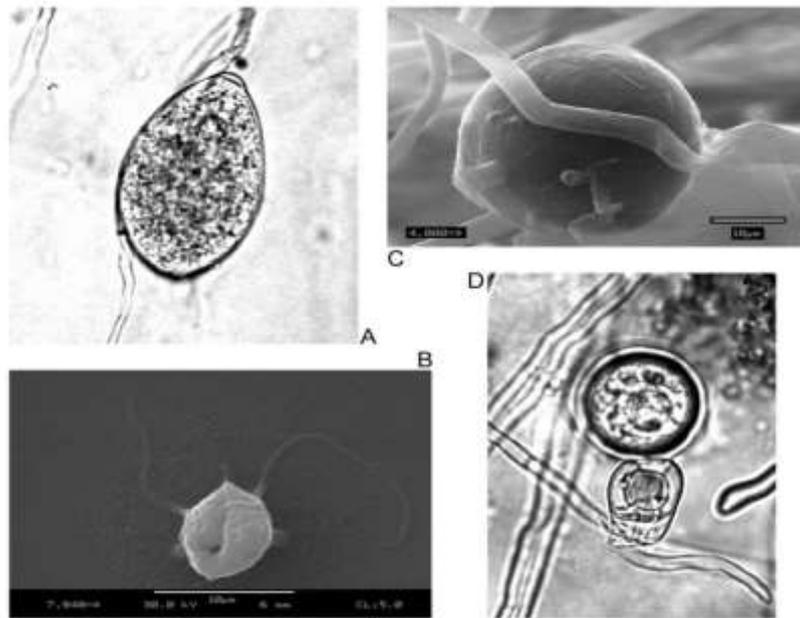
### 7.1 Reproduction sexuée

En tant que membre hétérothallique des oomycètes, *P. infestans* a généralement besoin des deux types d'accouplement (A1 et A2) pour la reproduction sexuée (Fry, 2008). Ces deux types sexuels, A1 et A2, produisent des sporanges utilisés pour la reproduction asexuée. Lorsque des mycéliums de différents types de sexe se rencontrent, ils forment des anthéridies et des oogones donnant naissance à des spores sexuées appelées oospores. Ces oospores sont de

forme arrondie et ont des parois épaisses. Leur durée de vie en dehors du tissu hôte est relativement longues (Des semaines à des années). Ces oospores sont ainsi capables de persister plusieurs années au champ et de réinfecter par la suite une culture de pomme de terre (**Drenth et al., 1995**). Lorsqu'elles germent, les oospores forment un tube germinatif au bout duquel apparaît un sporange. Ce sporange peut alors germer soit directement, soit après formation de zoospores

## **7.2 Reproduction asexuée**

Les sporanges, à maturité, se détachent et sont emportés par le vent ou dispersés par la pluie ; s'ils atterrissent sur des feuilles ou des tiges de pomme de terre humides, ils germent et provoquent de nouvelles infections (**Agrios, 2005**). Les sporanges de *P. infestans* germent soit directement avec un tube germinatif, soit indirectement, en libérant des zoospores. Les tubes germinatifs peuvent également former des sporanges secondaires, qui peuvent servir à augmenter la longévité de la spore (**Harrison, 1992**). *Phytophthora infestans* est un agent pathogène hémibiotrophe dans les conditions naturelles, la germination des spores nécessitant des tissus vivant d'une espèce hôte appropriée. Les sporanges qui se posent sur les plantes hôtes dans des conditions chaudes peuvent germer directement, via un tube germinatif qui se développe dans le tissu de l'hôte à travers un stomate ou un point faible dans la cuticule (**Fry, 2008**). Alternativement, en présence d'une quantité suffisante d'eau liquide et de basses températures, les sporanges peuvent libérer des zoospores, qui possèdent des flagelles et sont capables de nager vers les sites d'infection les plus appropriés, provoquant une infection rapide (Walker and van West, 2007). La libération des zoospores est plus fréquente à des températures autour de 10-15°C (**Melhus, 1915**). Le tube germinatif pénètre directement ou pénètre par un stomate, et le mycélium se développe abondamment entre les cellules, envoyant de longues haustories enroulées dans les cellules. Les cellules infectées plus anciennes meurent tandis que le mycélium continue de se propager dans les tissus frais. Dans tous les cas, à mesure que la maladie se développe, les lésions établies s'agrandissent et de nouvelles se développent, tuant souvent le feuillage et réduisant les rendements en tubercules de pomme de terre (**Agrios, 2005**).



**Figure 7** : Structures reproductives de *Phytophthora*. Les sporanges asexués (A), les zoospores (B) et les chlamydospores (C) et les oospores sexuelles (D)(Henry, 2004).

## 8 Les symptômes du mildiou

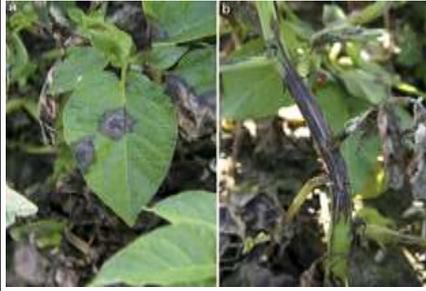
*Phytophthora infestans* peut affecter tous les organes de la plante, à savoir les feuilles, les pétioles, les pousses, les bouquets terminaux, les tiges et les tubercules. La maladie se déclare de manière isolée, puis se propage très rapidement à l'ensemble de la parcelle. Sur feuilles, la maladie se caractérise par la formation de premières taches humides et huileuses, voire de plaques. Ces attaques rendent localement le tissu atteint vert pâle à brun verdâtre (Agrios, 2005). La maladie apparaît également sur les pétioles et les tiges, avec des taches brunes plus ou moins importantes, qui peuvent provoquer des dégâts sur les jeunes plants ou des bris de tiges des plantes adultes. Ces attaques sont des voies d'accès à d'autres champignons ou bactéries qui font pourrir les tubercules dans le sol ou en entrepôt. Des taches foncées apparaissent sur les fruits verts ; une fine couche de mycélium blanc peut apparaître par temps humide (Nelson, 2008).

Dans les régions chaudes, les tubercules infectés présentent des symptômes et une pourriture complète peu de temps après la récolte, tandis que dans les régions tempérées, l'apparition et la propagation de la maladie sont plus lentes et les dégâts sont moins graves (Berg, 1926b; Nelson, 2008). La peau d'un tubercule infecté peut être peu ou pas endommagée. Les tubercules infectés sont généralement mous et leurs tissus internes peuvent apparaître

légèrement décolorés ou crémeux. Les tissus infectés s'assombrissent avec le temps et leurs contours sont marqués par des lignes brun foncé.

**Tableau 10:** Symptômes du mildiou sur Tomate(INRA).

<b>Impact sur</b>	<b>Symptômes</b>	<b>Photos des symptômes</b>
<b>Les feuilles</b>	Des taches aqueuses qui s'étendent rapidement en lésions vert pâle à noir brunâtre pouvant couvrir de grandes surfaces de feuilles.	
<b>Les tiges</b>	Des taches aqueuses indéterminées qui s'étendent rapidement en lésions brunes à noires couvrant de vastes zones de pétioles et de tiges.	
<b>Les fruits</b>	Des taches foncées huileuses apparaissent sur les fruits verts, une fine couche de mycélium blanc peut apparaître par temps humide.	

Impact sur	Symptômes	Photos des symptômes
<b>Les feuilles</b>	Le mildiou se reconnaît aux larges taches brunes huileuses auréolées de vert pâle à la face supérieure des feuilles et au duvet blanc sur leur face inférieure.	
<b>Les tiges</b>	La maladie se manifeste sur les pétioles et les tiges par des taches brunes à différents niveaux qui peuvent entraîner la destruction des jeunes plants ou la cassure des tiges des plantes adultes.	
<b>Les tubercules</b>	Des taches brunes apparaissent sur l'épiderme des tubercules, et des zones marbrées de couleur rouille et fibreuse, à l'intérieur, sous la forme d'une pourriture sèche.	

**Tableau 11** : Symptômes du mildiou sur Pommes de terre(INRA).

## 9 Diagnostic

Une détection et une identification précoce, précise et fiable des agents pathogènes fongiques est nécessaire pour une prise de décision phytosanitaire rapide et une gestion efficace des maladies des plantes. Traditionnellement, l'identification et la détection des agents pathogènes fongiques reposaient principalement sur des méthodes morphologiques basées sur les caractères culturaux (Jeffers, 1987; Tsao, 1977).

L'identification morphologique des champignons phytopathogènes est une tâche qui demande beaucoup de travail et d'effort et de temps et mycologiquement intensive, c'est pourquoi des outils de diagnostic rapides, sensibles et robustes sont importants pour la sécurité des plantations propres (Hussain et Singh, 2016), des trousse de diagnostic ou des techniques qui emploient des méthodes biochimiques ou moléculaires peuvent être utiles. Les kits de

diagnostic, tels que le dosage immuno-enzymatique (ELISA) qui reposent sur des réactions anticorps-antigène peuvent ne pas être sensibles aux espèces et peuvent réagir de manière croisée avec *Pythium*, mais peuvent fournir une indication initiale de la présence d'un oomycète. L'amplification de l'ADN à l'aide de la réaction en chaîne par polymérase (PCR) peut être utile. Certaines amorces pour la PCR sont apparemment spécifiques de *P. infestans* (Trout et al., 1997), et leur utilisation dans le diagnostic devrait être utile. Les tests PCR entemps réel sont très sensibles et spécifiques et offrent plusieurs avantages par rapport aux tests PCR conventionnelle pour *Phytophthora infestans* (Hussain et al., 2014). L'amplification isotherme médiée par boucle (LAMP) est un outil de diagnostic du mildiou qui est une alternative aux diagnostics PCR conventionnels (Hansen et al., 2016). Des marqueurs alloenzymatiques ont été utilisés pour détecter des génotypes spécifiques du champignon dans certaines populations clonales simples (Goodwin, 1995). Une récente étude a permis de développer une nouvelle méthode de diagnostic rapide du mildiou sans équipements, le test d'amplification par recombinaison polymérase à flux latéral (LF-RPA) (Lu et al., 2020).

## 10 Pouvoir pathogène de *Phytophthora infestans*

### 10.1 Enzymes et protéines

Lors de l'infection, les hyphes de *Phytophthora* infiltrent l'espace intercellulaire du tissu végétal et forment des haustoriums. Un haustorium ou haustorie est un organe qui s'insère dans les tissus de la plante hôte, pour absorber l'eau et les nutriments contenus dans les cellules sans traverser la membrane cellulaire. Le mode de propagation des protéines avirulentes entre l'espace extracellulaire et le cytoplasme de l'hôte ne sont pas encore très clairs (Ellis et al., 2006; Kamoun, 2006). Des effecteurs sont sécrétés dans l'apoplaste où les molécules cibles et les récepteurs sont présents à la surface. D'autres effecteurs, éventuellement exprimés dans le haustorium, ciblent les récepteurs cytoplasmiques végétaux (Catanzariti et al., 2005). Les effecteurs cytoplasmiques sont des protéines d'avirulence RxLR (acides aminés R=Arg, L=Leu), identifiées par le séquençage de 5 gènes Avr (Avr1b-1, ATR13 et ATR1NdWs, Avr3a et Avr3b) chez *P. sojae*, *Hyaloperonospora arabidopsis* et *P. infestans* (Allen et al., 2004; Armstrong et al., 2005). Des comparaisons avec d'autres photosystèmes végétaux suggèrent un potentiel de reconnaissance par des récepteurs d'entocytose de la cellule ce qui permet l'entrée de la protéine AVR dans le cytoplasme. Pour reconnaître les molécules

pathogènes, les plantes possèdent des récepteurs extracellulaires et intracellulaires. Les récepteurs extracellulaires, appelés PRR (Pattern Recognition Receptors), jouent un rôle majeur dans la connexion entre la paroi cellulaire, la membrane plasmique et le cytosquelette et dans la transmission de signaux externes. Les récepteurs intracellulaires assurent la reconnaissance des molécules pathogènes dans le cytoplasme végétal par les protéines NBS-LRR (Tör, 2008) .

## **10.2 Les PAMPs et effecteurs**

Les interactions entre les plantes et les pathogènes incompatibles conduisent souvent à une mort cellulaire rapide et localisée dans le cadre de réactions allergiques. La mort cellulaire par hypersensibilité (RH) est un mécanisme de défense caractérisé par une mort cellulaire rapide au site de l'infection, ce qui limite la croissance ultérieure du champignon infectant. Les mécanismes de ces événements moléculaires sont spéculés comme suit : (1) reconnaissance initiale de PAMPs (modèles moléculaires associés aux agents pathogènes) et de suppresseurs d'agents pathogènes par la membrane plasmique de l'hôte pendant l'infection ; (2) augmentation de l'influx de  $Ca^{2+}$  [4- 6] , réduction du pH et activation de la kinase intracellulaire ; (3) Induction de défenses biochimiques et physiologiques dans les cellules hôtes (Furuichi, 2014).

Les champignons phytopathogènes et les oomycètes produisent des effecteurs (facteurs de virulence) et des PAMP (motifs moléculaires associés aux pathogènes). Les effecteurs que les plantes reconnaissent spécifiquement lors des interactions gène à gène sont appelés protéines d'avirulence AVR. Ce sont des facteurs d'adaptation aux pathogènes qui manipulent les mécanismes de défense des plantes. Les PAMPs jouent un rôle majeur dans la pathogénicité et déclenchent le système immunitaire non spécifique de la plante (Danan, 2009; Tör, 2008).

***Chapitre III***  
***Méthodes de lutte contre le***  
***mildiou***

## **Chapitre III :Méthodes de lutte contre le mildiou**

Depuis plus de 150 ans nous essayant de combattre le mildiou. Cependant, malgré la grande variété de méthodes impliquées, la plupart des tentatives n'ont pas abouti ou ne sont pas suffisamment efficaces. Il existe plus de 80 espèces de *Phytophthora* et le *Phytophthora infestans* est le plus connu. La lutte contre le mildiou repose en grande partie sur des fongicides (Ivanov et al., 2021; van de Mortel et al., 2009) contenant des oxydes de cuivre, de benzamide ou de cyanoacétamide comme ingrédients actifs. Les préoccupations du public concernant les effets néfastes de ces produits chimiques sur la sécurité alimentaire et l'environnement ont conduit à une demande accrue de nouvelles stratégies de contrôle, de préférence basées sur des produits naturels (van de Mortel et al., 2009).

### **1 Pratiques culturales**

Les pratiques culturales sont une partie importante des stratégies de gestion des maladies des agriculteurs, qui peuvent freiner la progression des maladies. L'objectif de la lutte culturelle contre le mildiou est de réduire l'accumulation de l'inoculum, d'empêcher l'introduction d'inoculum provenant de rebut de tas de pommes de terre à proximité ou de plants de tomates transplantés, de diminuer les taux d'infection et de créer des conditions qui ne sont pas propices au développement et à la propagation de la maladie. Les parties des plants infectées de tomates, y compris les semences et les tubercules de pommes de terre malades, et le sol infecté sont les principales causes de la maladie. Par conséquent, le contrôle du mildiou nécessite l'élimination ou la réduction de l'inoculum dans la tomate et la pomme de terre ainsi que dans le sol. L'assainissement est la première ligne de défense contre le mildiou. Avant l'émergence de la nouvelle culture, il doit être, enterré, composté ou autrement éliminé des champs. Tous les hôtes volontaires du mildiou comme l'aubergine, la pomme de terre, le poivron et la tomate doivent être évités comme cultures voisines (Blancard et al., 2009; Cooke et al., 2011; Kruidhof and Elmer, 2020; Mengesha, 2017).

Le contrôle des sources contaminées, telles que les tas de déchets, les semences de tomates ou tubercules infectées de pommes de terre, mais aussi l'utilisation de semences certifiées exemptes de maladies, la culture de variétés résistantes, des champs aérés bien drainés, un espace adéquat entre les rangées et les plantes, la rotation avec des non-hôtes, un buttage adéquat, un désherbage mécanique en temps opportun sont autant de mesures que les

agriculteurs doivent prendre pour limiter la progression du mildiou (**Foolad et al., 2008; Goutam et al., 2018; Stevenson, 2009; Stone, 2011**). En outre, éliminer ou détruire les plantes malades immédiatement après la récolte, ou enterrer les débris de plantes malades par un labour profond aide à réduire le niveau de spores disponibles pour infecter les nouvelles plantes afin d'empêcher leur propagation à d'autres plantes. Les options d'élimination des plantes malades comprennent le labourage ou l'enfouissement de la plante, placer les plantes dans des sacs en plastique et recouvrir les plantes d'une bâche jusqu'à ce que le tissu soit complètement dégradé (**Agrios, 2005; Cooke et al., 2011; Foolad et al., 2008; Stone, 2011**).

Il est également conseiller toute pratique culturale qui réduit l'humidité foliaire en évitant l'irrigation par aspersion et en irriguant le matin pour favoriser le séchage foliaire et aussi de tuteurer les plantes, et planter dans des endroits avec une bonne circulation. L'utilisation excessive d'engrais azotés entraîne une augmentation de la maladie et une réduction du rendement, par contre une utilisation plus modérée est souvent recommandée pour retarder le développement du mildiou(**Blancard et al., 2009; Goutam et al., 2018; Lal et al., 2022; Roy et al., 2001**).

## **2 Lutte chimique**

L'usage de produits chimiques contre *P. infestans* remonte au XIXe siècle avec la bouillie bordelaise (fongicide polyvalent). En l'absence de résistance durable à base de plantes, les produits chimiques restent un outil clé contre le mildiou, avec de multiples produits chimiques protecteurs et systémiques utilisés. Cependant, plusieurs problèmes permettent à *P. infestans* d'échapper ou de réduire leur efficacité. Les fongicides DMI (inhibiteurs de déméthylation) développés pour les champignons ne sont pas utiles, car *P. infestans* ne synthétise pas de stéroïdes (**Leesutthiphonchai et al., 2018**).

La lutte chimique reste la principale mesure de lutte contre le mildiou chez les solanacées en usant des fongicides pénétrants ou systémiques (**Sedláková et al., 2011**). Cependant, l'utilisation intensive de fongicides systémiques a conduit à sélectionner des isolats résistants à ces principes actifs, qui appartiennent principalement au groupe des benzamides (métalaxyl et ses énantiomères métalaxyl, benalaxyl)(**Gisi and Cohen, 1996**). Par ailleurs, les effets néfastes de l'utilisation des pesticides sur la santé des utilisateurs et sur l'environnement conduisent aujourd'hui à privilégier un usage plus rationnel. Par conséquent, des systèmes de prévision des risques ont été développés pour rationaliser l'utilisation des chimiothérapies

préventive. Ils reposent sur le développement d'un modèle de prédiction du risque de développement du pathogène (Arvalis, 2014).

Les fongicides phénylamides (PAF) sont une classe de composés systémiques comprenant le

- Métalaxyl (Ridomil R).
- Oxadixyl (Sandofan R).
- Béalaxyl (Galben R)
- Ofurace (Patafol R).

Ces composés représentent d'excellentes propriétés protectrices, curatives et éradicatrices d'activités antifongiques et un contrôle exclusif des maladies causées par les phytopathogènes tel que le *Phytophthora infestans*. Depuis leur découverte en 1977 les PAF ont largement contribué à un contrôle efficace des maladies causées par ces oomycètes (Gisi and Cohen, 1996).

Les fongicides sont des produits chimiques provenant de diverses origines qui sont toxique pour les pathogènes fongiques, ils peuvent être fabriquées à partir de produits organiques ou inorganiques ou une combinaison des deux. Les fongicides ont le pouvoir d'éliminer les pathogènes fongiques en tuant leurs mycélium, zoosporange ou zoospores ou toute autre structure de propagation.

Le mildiou peut être efficacement contrôlé lorsque l'application des fongicides est faite avant l'infection car la majorité de ces produits possèdent un effet protecteur et perdent en efficacité une fois la maladie installée dans les tissus végétales (Majeed et al., 2017).

L'application systémique des fongicides est faite à partir de 60ème jours après la plantation, jusqu'à 3 applications à 10 jours d'intervalle. Les fongicides protecteurs ne persistent pas longtemps parce que le vent et la pluie peuvent réduire leur efficacité ingrédients (DeahP et al., 1993 ; Muchiri et al., 2010).

### **3 Lutte génétique**

La recherche de gènes majeurs de résistance au mildiou pour leur introduction dans les variétés cultivées par hybridation classique fut fortement développée par le passé (Rolot et al., 2005).

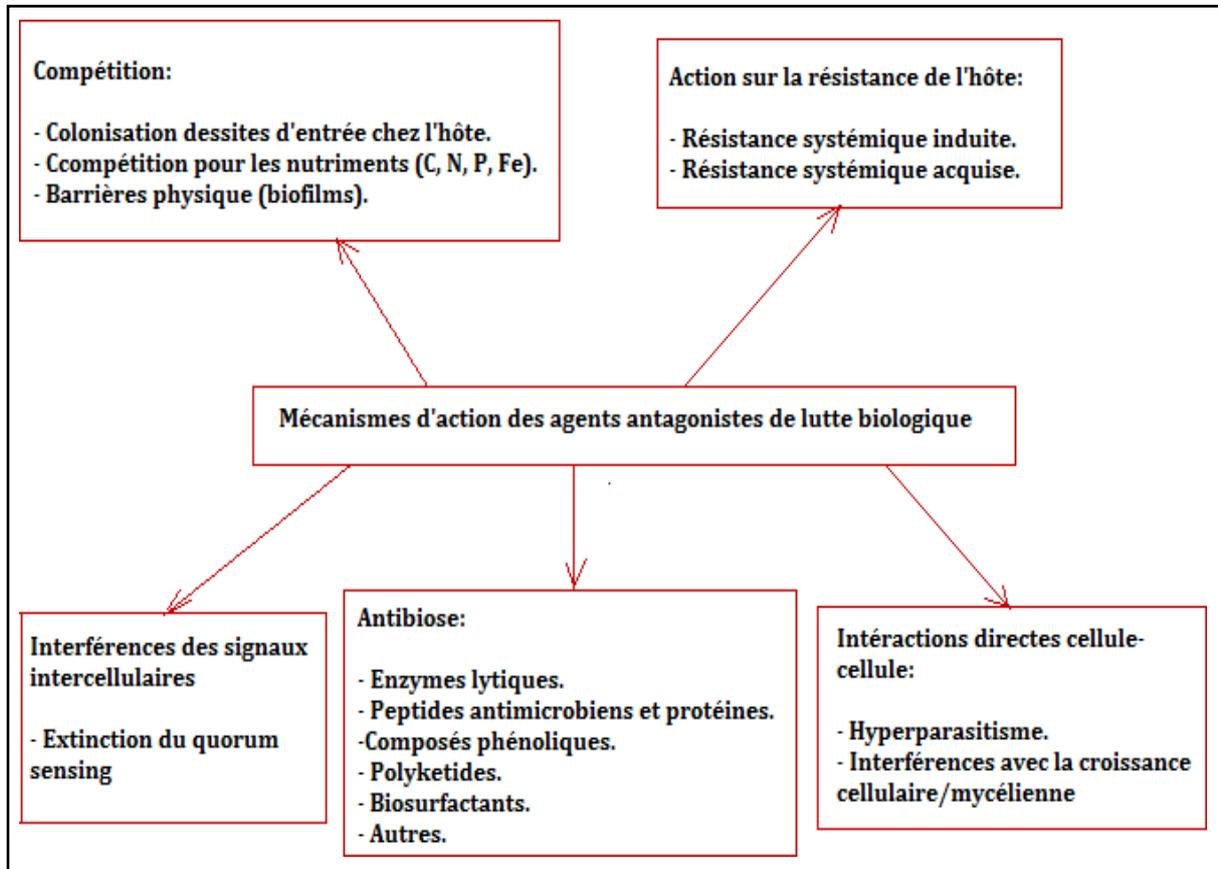
Dans les années 1920, des espèces sauvages apparentées à la pomme de terre cultivées présentant des gènes majeurs très efficaces contre le mildiou ont été découvertes, notamment l'espèce mexicaine *Solanum demissum* avec 11 gènes majeurs races-espèces R1 à R11 (**Danan, 2009**). De nombreux programmes reposant sur l'introgression de ces gènes de résistance ont été engagés, avec pour but la sélection de variétés ayant une bonne valeur agronomique et une bonne résistance au mildiou (**Montarry, 2007**).

Une des meilleures alternatives à l'utilisation de fongicides est donc le contrôle génétique. Les procédures d'introgression des gènes ont longtemps reposé sur l'introduction de résistances monogéniques spécifiques. Actuellement, 11 de ces gènes (R1-R11) ont été identifiés et introduits dans *S. tuberosum* à partir de *S. demissum* (**Black et al., 1953; Jo et al., 2015**). Des gènes similaires ont également été identifiés chez d'autres espèces apparentées à *S. tuberosum* telle que *S. phureja* (**Śliwka et al., 2006**) ou *S. michoacanum* (**Śliwka et al., 2012**). Cependant, ces gènes conférant à la plante une résistance totale, sont plus ou moins rapidement contournés par les populations parasitaires, entraînant la perte de leur efficacité et ne peuvent constituer à eux seuls une méthode de lutte durable. Les sélectionneurs s'orientent donc actuellement vers la recherche de résistances partielles, polygéniques, potentiellement identifiables au niveau moléculaire au travers des loci de résistance quantitative QTL (Quantitative Trait Loci), espérant ainsi une meilleure durabilité. La gestion de ces résistances pour éviter leur érosion, consiste à raisonner leur utilisation en associant différentes résistances dans une même plante, ou bien encore dans le paysage (le parcellaire) ou dans le temps (les rotations). Les récents travaux de transgénèse et plus précisément de cisgénèse, permettent également d'espérer des progrès en matière de cumul d'allèles favorables au cours des prochaines années (**Haverkort et al., 2008**).

#### **4 Lutte biologique :**

La lutte biologique est une méthode de protection et de gestion des cultures qui consiste à contrôler les agents pathogènes à l'aide d'organismes vivants ou des produits dérivés de ces organismes. Les agents de lutte biologique sont réunis sous le concept de biopesticides et constituent une bonne alternative à l'utilisation des produits phytosanitaires chimiques car ils sont plus sûrs écologiquement sûrs et avantageux économiquement (**Bale et al., 2008; Cock et al., 2010; Fravel, 2005**). Ils sont utilisés depuis au moins 2000 ans, mais l'utilisation moderne a commencé à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle (**van Lenteren et al., 2018**). Les agents de lutte

biologique d'origine microbienne tels que les champignons, les bactéries et les levures utilisent différents mécanismes d'action (**Figure 1**), qu'ils soient directs ou indirectes pour lutter contre les agents phytopathogènes, à savoir : le parasitisme, la compétition pour l'espace et les nutriments, l'antibiose, la réduction du pouvoirs pathogène et l'induction des défenses des plantes (Ajouz et al., 2010; Bardin and Pugliese, 2020; Benhamou and Rey, 2012; Camps et al., 2012).



**Figure 8:** Mécanismes d'action des agents de lutte biologique (Montesinos and Bonaterra, 2009).

Plusieurs études se sont penchées sur des solutions alternatives plus respectueuses de l'environnement pour lutter contre le mildiou. Les options potentielles en cours d'évaluation comprennent l'induction de la résistance des plantes à l'aide d'éliciteurs tels que l'élicitrine, le BABA (acide  $\beta$ -aminobutyrique), le COS-OGA (ChitoOlygoSaccharides et OligoGAlacturonides) ou divers micro-organismes, tels que les mycorhizes et les levures (Clinckemallie et al., 2017; Du et al., 2015; Floryszak-Wieczorek et al., 2015; Gallou et al., 2011; Hadwiger et al., 2015). En plus de ces inducteurs de résistance des plantes, certains micro-organismes qui se sont avérés avoir une activité inhibitrice contre *P. infestans* ont été

décrits. Ils comprennent les espèces fongiques comme *Trichoderma*, l'oomycète *Pythiumoligandrum* et diverses espèces bactériennes qui appartiennent principalement aux genres *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rahnella* et *Serratia* (Daayf et al., 2003; Horner et al., 2012; Yao et al., 2016).

Malgré le fait que les études *in vitro* de lutte biologique échouent souvent à aboutir à des applications réussies sur le terrain, cela ne signifie pas que ces méthodes de lutte ne sont pas utiles, des informations précieuses peuvent être tirées de ces expériences.

Par ailleurs, *Trichoderma* est l'un des genres fongiques les plus étendus et les plus connus comme agent de lutte biologique (De Silva et al., 2019; Rai et al., 2019). Il existe d'ailleurs un certain nombre de formulations disponibles en vente basées sur le genre *Trichoderma* qui peuvent être utilisées pour contrôler les maladies transmises par le sol et les feuilles dans une variété de cultures (Elad et al., 1981; Harman et al., 1996). Ces champignons peuvent produire une importante variété de composés (chitinases, glucanases, trichodermine, trichodermol, peptaibols) pour contrôler de nombreux agents pathogènes des plantes et augmenter le rendement des cultures (Harman et al., 2004; Yedidia et al., 1999).

Le mycoparasitisme et l'antibiose sont les mécanismes de lutte biologique les plus utilisés par *Trichoderma spp* contre *P. infestans*. Le champignon s'enroule autour des hyphes de la paroi, sécrète des enzymes qui lysent les cellules et produit des métabolites secondaires et/ou des toxines qui arrêtent la croissance et la sporulation du parasite *in vitro* (Figure 9) (Kariuki et al., 2020; Yao et al., 2016).

Dans une étude qui a été effectuée en Éthiopie sous des conditions de serre et *in vitro* pour évaluer l'activité antagoniste de *Trichoderma viride* et *Pseudomonas fluorescens* contre *P. infestans* et il a été démontré que les deux antagonistes ont la capacité d'inhiber la croissance mycelienne de *P. infestans in vitro*. Cependant, la pulvérisation foliaire de suspensions de *T. viride* s'est avérée plus efficace que *P. fluorescens* (Zegeye et al., 2011).

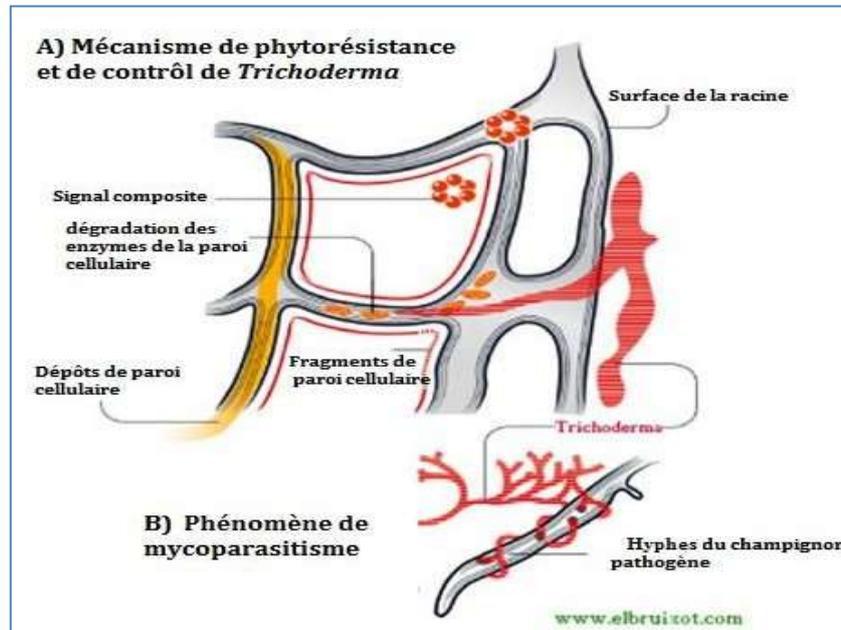


Figure 9: Phénomène de mycoparasitisme chez Trichoderma

Les espèces de *Bacillus* sont également connues pour protéger les plantes contre les bactéries phytopathogènes et les microchampignons à travers une variété de mécanismes, y compris la synthèse de divers lipopeptides cycliques ayant une activité inhibitrice contre les phytopathogènes (Hossain et al., 2015). Une étude a démontré une réduction du mildiou de la pomme de terre lors d'application d'isolats *Bacillus subtilis* aux champs. Il a démontré que les cultures bactériennes ont des propriétés antagonistes prometteuses pour contrôler l'effet de *Phytophthora infestans* (Kumbar et al., 2019).

Des tests effectués *in vitro* ont montrée l'inhibition de la croissance des oomycètes phytopathogènes par *Lysobacter capsici* AZ78. Par conséquent, l'application prophylactique de filtrat de culture de *L. capsici* AZ78 sur des plants de tomate a réduit l'infection causées par *Phytophthora infestans* (Puopolo et al., 2014).

De surcroit, l'utilisation d'un biosurfactant de *Pseudomonas aeruginosa* s'est avérée efficace pour réduire la maladie du mildiou (Tomar et al., 2019).

## 5 Protection intégrée

Des dommages causés aux cultures et aux aliments stockés par une variété d'organismes nuisibles ou également appelés bioagresseurs (ravageurs, microbes, virus, mauvaises herbes), oblige les agriculteurs à recourir aux différentes mesures de protection décrites préalablement.



### *Chapitre III : Méthodes de lutte contre le mildiou*

Le mildiou causé par l'oomycète *Phytophthora infestans* est considéré comme l'une des maladies les plus graves de la pomme de terre et de la tomate dans le monde (**Hashemi et al., 2022**). Pour un contrôle efficace du mildiou, tous les agriculteurs, y compris les grands et les petits intervenants, doivent adopter une gestion intégrée. Les fongicides ne sont pas efficaces seuls lorsqu'ils sont utilisés pour lutter contre le mildiou, mais peuvent faire partie d'une stratégie de lutte antiparasitaire intégrée qui comprend des pratiques culturales, la lutte génétique et biologique.

Des techniques de prévision et une technologie d'application appropriée sont essentielles pour une utilisation efficace et ciblée des fongicides (**Tsedaley, 2014**).

# *Conclusion*

### Conclusion :

Au cours de ce travail bibliographique nous nous sommes focalisés sur l'étude de l'impact du mildiou sur la culture des solanacées.

Dans la première partie du mémoire, nous nous sommes intéressés à la culture des solanacées qui compte quelques 147 genres et environ 2900 espèces. Parmi les solanacées, on trouve des plantes très connues comme la tomate et la pomme de terre, premières cultures maraichères dans de nombreux pays. Nous avons donc souligné l'importance de cette culture pour l'homme tant sur plan économique, alimentaires et médicinales.

Cette culture est sujette à de nombreuses maladies d'origine fongiques, bactériennes, virales et elle est agressée par bon nombre de ravageurs. Parmi ces maladies l'une des plus redouté par les agriculteurs est le mildiou qui cause de nombreux et terribles dommages affectant ainsi la productivité et font peser des risques réels sur la sécurité alimentaire. En 2014, les pertes mondiales provoquées par le mildiou de la pomme de terre ont été estimées à près de 5 milliards d'euros annuellement. Le Mildiou est l'un des rares phytopathogènes capable de détruire un champ en l'espace d'une à deux semaines. La deuxième partie du mémoire a donc souligné l'intérêt de cette maladie et l'importance de sa gestion.

La dernière partie dévoile les différentes stratégies de contrôle et des protocoles de traitements afin de diminuer le risque d'infection des cultures. Si depuis des années, en agriculture maraichère, on cherche à améliorer la qualité des cultures par l'application des différentes stratégies mise en place afin d'augmenter la productivité et satisfaire la demande du marché de plus en plus croissante, maintenant la prévention des maladies fait partie des incontournables de toute culture maraichère. Pour éviter des pertes importantes de rendements, la prévention et la lutte contre le mildiou doivent être pratiquées de façon permanente et efficace.

Très préjudiciables sur les cultures de la tomate et de la pomme de terre, l'agent pathogène *Phytophthora infestans* nécessite une surveillance accrue. Actuellement le moyen de contrôle le plus utilisé pour juguler cette maladie est la lutte chimique. Ajouté à cela, on privilégie également, l'utilisation de variétés résistantes, comportant notamment des gènes de résistances spécifiques pour limiter les dégâts engendrés par cette maladie. Des recherches sont actuellement menées vers le développement de variétés à résistance plus durable. Toutefois, ces deux moyens de contrôle restent insuffisants car leur efficacité est peu durable. Aussi, il parait nécessaire de développer des stratégies de contrôle de la maladie en combinant un ensemble d'approches génétiques, culturales, physiques, biologiques et chimiques afin de satisfaire au mieux les objectifs agronomiques, environnementaux et socio-économiques.

*Références  
Bibliographiques*

## **Références Bibliographiques**

### **A**

Agrios, G.N., 2005. Plant pathology, 5th ed. ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam; Boston.

Ainsworth, G.C., Bisby, G.R., Kirk, P.M., 2008. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi / by P.M. Kirk ... [et al.]; with the assistance of T.V. Andrianova ... [et al.], 10th ed. ed. CABI, Wallingford, Oxon, UK..

Ajouz, S., Nicot, P.C., Bardin, M., 2010. Adaptation to pyrrolnitrin in *Botrytis cinerea* and cost of resistance. *Plant Pathol.* 59, 556–566. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02230.x>.

Andrison, D., 1996. The origin of *Phytophthora infestans* populations present in Europe in the 1840s: a critical review of historical and scientific evidence. *Plant Pathol.* 45, 1027–1035. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1996.d01-196.x>.

Añibarro-Ortega, M., Pinela, J., Alexopoulos, A., Petropoulos, S.A., Ferreira, I.C.F.R., Barros, L., 2022. Chapter Four - The powerful Solanaceae: Food and nutraceutical applications in a sustainable world, in: Toldrá, F. (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press, pp. 131–172. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.03.004>

Ara, T., Khokan, E.H., Rahman, A.M., 2011. Taxonomic Studies on the Family Solanaceae in the Rajshahi University Campus 6.

Arora, R.K., Khurana, S.M.P., 2004. Major Fungal and Bacterial Diseases of Potato and their Management, in: Mukerji, K.G. (Ed.), *Fruit and Vegetable Diseases, Disease Management of Fruits and Vegetables*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 189–231. [https://doi.org/10.1007/0-306-48575-3\\_6](https://doi.org/10.1007/0-306-48575-3_6).

Arvalis, 2014. Rapport d'activité: fourrages, céréales, lin fibre, maïs, pomme de terre, tabac. Institut du végétal, ra2015-8773147748840137697.pdf.

### **B**

Badr, A., Khalifa, S.F., Aboel-Atta, A.I., Abou-El-Enain, M.M., 1997. Chromosomal Criteria and Taxonomic Relationships in the Solanaceae. *Cytologia (Tokyo)* 62, 103–113. <https://doi.org/10.1508/cytologia.62.103>.

Bale, J.S., van Lenteren, J.C., Bigler, F., 2008. Biological control and sustainable food production. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 761–776. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>.

Barboza, G.E., Hunziker, A.T., Bernardello, G., Cocucci, A.A., Moscone, A.E., Carrizo García, C., Fuentes, V., Dillon, M.O., Bittrich, V., Cosa, M.T., Subils, R., Romanutti, A., Arroyo, S., Anton, A., 2016. Solanaceae, in: Kadereit, J.W., Bittrich, Volker (Eds.), *Flowering Plants. Eudicots: Aquifoliales, Boraginales, Bruniales, Dipsacales, Escalloniales, Garryales, Paracryphiales, Solanales (except Convolvulaceae), Icacinaceae, Metteniusaceae,*

Vahliaeeae, The Families and Genera of Vascular Plants. Springer International Publishing, Cham, pp. 295–357. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28534-4\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28534-4_29).

Bardin, M., Pugliese, M., 2020. Biocontrol Agents Against Diseases, in: Gullino, M.L., Albajes, R., Nicot, P.C. (Eds.), Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops, Plant Pathology in the 21st Century. Springer International Publishing, Cham, pp. 385–407. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_13).

Benhamou, N., Rey, P., 2012. Elicitors of natural plant defense mechanisms: a new management strategy in the context of sustainable production. II. Interest for SDN in crop protection. *Phytoprotection -Quebec-* 92, 24–35.

Berg, A., 1926. Tomato Late Blight and its Relation to Late Blight of Potato. West Virginia University Agricultural Experiment Station. <https://doi.org/10.33915/agnic.205>.

Bimšteine, G., 2008. *Phytophthora infestans* Populations in Latvia. *Proc. Latv. Acad. Sci. Sect. B Nat. Exact Appl. Sci.* 62, 223–226. <https://doi.org/10.2478/v10046-009-0004-y>.

Black, W., Mastenbroek, C., Mills, W.R., Peterson, L.C., 1953. A proposal for an international nomenclature of races of *Phytophthora infestans* and of genes controlling immunity in *Solanum demissum* derivatives. *Euphytica* 2, 173–179. <https://doi.org/10.1007/BF00053724>.

Blackwell, E.M., 1949. Terminology in *Phytophthora*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey.

Blanc, S., 2012. Cartographie génétique et analyse de la résistance au mildiou et à l'oïdium de la vigne chez *Muscadinia Rotundifolia* 257.

Blancard, D., Laterrot, H., Marchoux, G., Candresse, T., 2009. Les maladies de la tomate identifier, connaître, maîtriser. Editions Quae, Versailles.

Bohs, L., 2007. Phylogeny of the Cyphomandra Clade of the Genus *Solanum* (Solanaceae) Based on its Sequence Data. *Taxon* 56, 1012–1026. <https://doi.org/10.2307/25065901>.

Bohs, L., Olmstead, R.G., 1997. Phylogenetic Relationships in *Solanum* (Solanaceae) Based on *ndhF* Sequences. *Syst. Bot.* 22, 5. <https://doi.org/10.2307/2419674>.

## C

Camps, C., Michel, V., Martinez, C., 2012. Souche de *Lactobacillus* utilisée comme agent de lutte biologique contre *Pythium ultimum* sur tomate 5.

Catanzariti, A.-M., Dodds, P.N., Lawrence, G.J., Ayliffe, M.A., Ellis, J.G., 2005. Haustorially Expressed Secreted Proteins from Flax Rust Are Highly Enriched for Avirulence Elicitors. *Plant Cell* 18, 243–256. <https://doi.org/10.1105/tpc.105.035980>.

Chowdappa, P., Kumar, N.B.J., Madhura, S., Kumar, M.S.P., Myers, K.L., Fry, W.E., Squires, J.N., Cooke, D.E.L., 2013. Emergence of 13\_A2 Blue Lineage of *Phytophthora*

*infestans* was Responsible for Severe Outbreaks of Late Blight on Tomato in South-West India. *J. Phytopathol.* 161, 49–58. <https://doi.org/10.1111/jph.12031>.

Clinckemaillie, A., Decroës, A., van Aubel, G., Carrola dos Santos, S., Renard, M.E., Van Cutsem, P., Legrève, A., 2017. The novel elicitor COS-OGA enhances potato resistance to late blight. *Plant Pathol.* 66, 818–825. <https://doi.org/10.1111/ppa.12641>.

Cock, M.J.W., van Lenteren, J.C., Brodeur, J., Barratt, B.I.P., Bigler, F., Bolckmans, K., Côtoli, F.L., Haas, F., Mason, P.G., Parra, J.R.P., 2010. Do new Access and Benefit Sharing procedures under the Convention on Biological Diversity threaten the future of biological control *BioControl* 55, 199–218. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9234-9>.

Cooke, D.E.L., Cano, L.M., Raffaele, S., Bain, R.A., Cooke, L.R., Etherington, G.J., Deahl, K.L., Farrer, R.A., Gilroy, E.M., Goss, E.M., Grünwald, N.J., Hein, I., MacLean, D., McNicol, J.W., Randall, E., Oliva, R.F., Pel, M.A., Shaw, D.S., Squires, J.N., Taylor, M.C., Vleeshouwers, V.G.A.A., Birch, P.R.J., Lees, A.K., Kamoun, S., 2012. Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine pathogen. *Plos Pathog.* 8, e1002940. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002940>.

Cooke, D.E.L., Drenth, A., Duncan, J.M., Wagels, G., Brasier, C.M., 2000. A Molecular Phylogeny of *Phytophthora* and Related Oomycetes. *Fungal Genet. Biol.* 30, 17–32. <https://doi.org/10.1006/fgbi.2000.1202>.

Cooke, L.R., Schepers, H.T.A.M., Hermansen, A., Bain, R.A., Bradshaw, N.J., Ritchie, F., Shaw, D.S., Evenhuis, A., Kessel, G.J.T., Wander, J.G.N., Andersson, B., Hansen, J.G., Hannukkala, A., Nærstad, R., Nielsen, B.J., 2011. Epidemiology and Integrated Control of Potato Late Blight in Europe. *Potato Res.* 54, 183–222. <https://doi.org/10.1007/s11540-011-9187-0>.

Crosby, K.M., 2008. Pepper, in: Prohens, J., Nuez, F. (Eds.), *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae, Handbook of Plant Breeding*. Springer, New York, NY, pp. 221–248. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-74110-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-0-387-74110-9_6).

## D

Daayf, F., Adam, L., Fernando, W.G.D., 2003. Comparative screening of bacteria for biological control of potato late blight (strain US-8), using invitro, detached-leaves, and whole-plant testing systems. *Can. J. Plant Pathol.* 25, 276–284. <https://doi.org/10.1080/07060660309507080>.

Danan, S., 2009. Diversité structurale des locus de résistance à *Phytophthora infestans* chez la pomme de terre et synténie chez les Solanacées 302.

Daunay, M.-C., 2008. Eggplant, in: Prohens, J., Nuez, F. (Eds.), *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae, Handbook of Plant Breeding*. Springer, New York, NY, pp. 163–220. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-74110-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-74110-9_5)

De Silva, N.I., Brooks, S., Lumyong, S., Hyde, K.D., 2019. Use of endophytes as biocontrol agents. *Fungal Biol. Rev.* 33, 133–148. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2018.10.001>.

DeahP, K.L., Inglis, D.A., DeMuth, S.P., 1993. Testing for resistance to metalaxyl in *phytophthora Infestans* isolates from northwestern washington 70, 17.

Dean, R.A., Lichens-Park, A., Kole, C. (Eds.), 2014. Genomics of Plant-Associated Fungi and Oomycetes: Dicot Pathogens. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44056-8>.

Deguine, J., Ferron, P., 2004. Protection des cultures et développement durable. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA (52) : p. 57-65.

Delgado, R.A., Monteros-Altamirano, A.R., Li, Y., Visser, R.G.F., van der Lee, T. a. J., Vosman, B., 2013. Large subclonal variation in *Phytophthora infestans* populations associated with Ecuadorian potato landraces. Plant Pathol. 62, 1081–1088. <https://doi.org/10.1111/ppa.12039>.

Drenth, A., Janssen, E.M., Govers, F., 1995. Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. Plant Pathol. 44, 86–94. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02719.x>.

Du, J., Verzaux, E., Chaparro-Garcia, A., Bijsterbosch, G., Keizer, L.C.P., Zhou, J., Liebrand, T.W.H., Xie, C., Govers, F., Robatzek, S., van der Vossen, E.A.G., Jacobsen, E., Visser, R.G.F., Kamoun, S., Vleeshouwers, V.G.A.A., 2015. Elicitin recognition confers enhanced resistance to *Phytophthora infestans* in potato. Nat. Plants 1, 1–5. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.34>.

### E

Eich, E., 2008. Solanaceae and convolvulaceae - secondary metabolites: biosynthesis, chemotaxonomy, biological and economic significance: a handbook. Springer, Berlin ; [London]. ,637 p.

Elad, Y., Chet, I., Henis, Y., 1981. A selective medium for improving quantitative isolation of *Trichoderma spp.* from soil. Phytoparasitica 9, 59–67. <https://doi.org/10.1007/BF03158330>.

Ellen Michaels, G., Susan J, F., 2007. Phytophthoras in Forests and Natural Ecosystems .Proceedings of the Fourth Meeting of the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Working Party S07.02.09 [www document]. URL [https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw\\_gtr221/psw\\_gtr221.pdf](https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr221/psw_gtr221.pdf) (accessed 5.24.22).

### F

Floryszak-Wieczorek, J., Arasimowicz-Jelonek, M., Abramowski, D., 2015. BABA-primed defense responses to *Phytophthora infestans* in the next vegetative progeny of potato. Front. Plant Sci. 6.

Foëx, E., 1924. Histoire de l'introduction de quelques nouvelles Maladies des plantes. Rev. Bot. Appliquée Agric. Colon. 4, 561–568. <https://doi.org/10.3406/jatba.1924.4214>.

- Fogelman, E., Oren-Shamir, M., Hirschberg, J., Mandolino, G., Parisi, B., Ovadia, R., Tanami, Z., Faigenboim, A., Ginzberg, I., externe, L. vers un site, fenêtre, celui-ci s'ouvrira dans une nouvelle, 2019. Nutritional value of potato (*Solanum tuberosum*) in hot climates: anthocyanins, carotenoids, and steroidal glycoalkaloids. *Planta* 249, 1143–1155. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-03078-y>.
- Foolad, M.R., Merk, H.L., Ashrafi, H., 2008. Genetics, Genomics and Breeding of Late Blight and Early Blight Resistance in Tomato. *Crit. Rev. Plant Sci.* 27, 75–107. <https://doi.org/10.1080/07352680802147353>.
- Fravel, D.R., 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.* 43, 337–359. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.032904.092924>.
- Fry, W., 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Mol. Plant Pathol.* 9, 385–402. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x>.
- Fry, W.E., 1993. Historical and Recent Migrations of *Phytophthora infestans* : Chronology, Pathways, and Implications. *Plant Dis.* 77, 653. <https://doi.org/10.1094/PD-77-0653>.
- Fry, W.E., Grnwald, N.J., Cooke, D.E.L., McLeod, A., Forbes, G.A., Cao, K., 2009. Population Genetics and Population Diversity of *Phytophthora infestans*, in: *Oomycete Genetics and Genomics*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 139–164. <https://doi.org/10.1002/9780470475898.ch7>.
- Fry, W.E., McGrath, M.T., Seaman, A., Zitter, T.A., McLeod, A., Danies, G., Small, I.M., Myers, K., Everts, K., Gevens, A.J., Gugino, B.K., Johnson, S.B., Judelson, H., Ristaino, J., Roberts, P., Secor, G., Seebold, K., Snover-Clift, K., Wyenandt, A., Grünwald, N.J., Smart, C.D., 2013. The 2009 Late Blight Pandemic in the Eastern United States - Causes and Results. *Plant Dis.* 97, 296–306. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-12-0791-FE>.
- Furuichi, N., 2014. PiPE, a *Phytophthora*-associated PAMPS from *P. infestans*, Binds to a Ca<sup>2+</sup>-Dependent Protein Kinase (CDPK) in Potato for the Induction of Hypersensitive Reaction. *J. Clin. Exp. Pathol.* 04. <https://doi.org/10.4172/2161-0681.1000156>.

## G

- Gallou, A., Lucero Mosquera, H.P., Cranenbrouck, S., Suárez, J.P., Declerck, S., 2011. Mycorrhiza induced resistance in potato plantlets challenged by *Phytophthora infestans*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 76, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2011.06.005>.
- Gebhardt, C., 2016. The historical role of species from the Solanaceae plant family in genetic research. *Theor. Appl. Genet.* 129, 2281–2294. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2804-1>.
- Gisi, U., Cohen, Y., 1996. Resistance to phenylamide fungicides: A case study with *Phytophthora infestans* involving mating type and race structure. *Annual Review of Phytopathology*, 34, 549-572. *Annu. Rev. Phytopathol.* 34, 549–72. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.34.1.549>.

Glimn-Lacy, J., Kaufman, P.B. (Eds.), 2006. Nightshade Family (Solanaceae), in: Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families. Springer US, Boston, MA, pp. 111–111. [https://doi.org/10.1007/0-387-28875-9\\_111](https://doi.org/10.1007/0-387-28875-9_111).

Gómez-Alpizar, L., Carbone, I., Ristaino, J.B., 2007. An Andean origin of *Phytophthora infestans* inferred from mitochondrial and nuclear gene genealogies. Proc. Natl. Acad. Sci. 104, 3306–3311. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611479104>.

Goodwin, S.B., 1995. Direct Detection of Gene Flow and Probable Sexual Reproduction of *Phytophthora infestans* in Northern North America. Phytopathology 85, 473. <https://doi.org/10.1094/Phyto-85-473>.

Goutam, U., Thakur, K., Salaria, N., Kukreja, S., 2018. Recent Approaches for Late Blight Disease Management of Potato Caused by *Phytophthora infestans*, in: Gehlot, P., Singh, J. (Eds.), Fungi and Their Role in Sustainable Development: Current Perspectives. Springer, Singapore, pp. 311–325. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7_18).

Grünwald, N.J., Flier, W.G., 2005. The Biology of *Phytophthora infestans* at Its Center of Origin. Annu. Rev. Phytopathol. 43, 171–190. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.040204.135906>.

Guchi, E., 2015. Disease Management Practice on Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Ethiopia. World J. Agric. Res. 3, 34–42. <https://doi.org/10.12691/wjar-3-1-8>.

Guenther, J.F., Michael, K.C., Nolte, P., 2001. The economic impact of potato late blight on US growers. Potato Res. 44, 121–125. <https://doi.org/10.1007/BF02410098>.

## H

Haas, B.J., Kamoun, S., Zody, M.C., Jiang, R.H.Y., Handsaker, R.E., Cano, L.M., Grabherr, M., Kodira, C.D., Raffaele, S., Torto-Alalibo, T., Bozkurt, T.O., Ah-Fong, A.M.V., Alvarado, L., Anderson, V.L., Armstrong, M.R., Avrova, A., Baxter, L., Beynon, J., Boevink, P.C., Bollmann, S.R., Bos, J.I.B., Bulone, V., Cai, G., Cakir, C., Carrington, J.C., Chawner, M., Conti, L., Costanzo, S., Ewan, R., Fahlgren, N., Fischbach, M.A., Fugelstad, J., Gilroy, E.M., Gnerre, S., Green, P.J., Grenville-Briggs, L.J., Griffith, J., Grünwald, N.J., Horn, K., Horner, N.R., Hu, C.-H., Huitema, E., Jeong, D.-H., Jones, A.M.E., Jones, J.D.G., Jones, R.W., Karlsson, E.K., Kunjeti, S.G., Lamour, K., Liu, Z., Ma, L., MacLean, D., Chibucos, M.C., McDonald, H., McWalters, J., Meijer, H.J.G., Morgan, W., Morris, P.F., Munro, C.A., O'Neill, K., Ospina-Giraldo, M., Pinzón, A., Pritchard, L., Ramsahoye, B., Ren, Q., Restrepo, S., Roy, S., Sadanandom, A., Savidor, A., Schornack, S., Schwartz, D.C., Schumann, U.D., Schwessinger, B., Seyer, L., Sharpe, T., Silvar, C., Song, J., Studholme, D.J., Sykes, S., Thines, M., van de Vondervoort, P.J.I., Phuntumart, V., Wawra, S., Weide, R., Win, J., Young, C., Zhou, S., Fry, W., Meyers, B.C., van West, P., Ristaino, J., Govers, F., Birch, P.R.J., Whisson, S.C., Judelson, H.S., Nusbaum, C., 2009. Genome sequence and analysis of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. Nature 461, 393–398. <https://doi.org/10.1038/nature08358>.

Hadwiger, L.A., McDonel, H., Glawe, D., 2015. Wild Yeast Strains as Prospective Candidates to Induce Resistance Against Potato Late Blight (*Phytophthora infestans*). Am. J. Potato Res. 92, 379–386. <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9443-y>.

- Hampson ,M.C., 1992. Some Thoughts on Demography of the Great Potato Famine. [www document].URL[https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1992Articles/PlantDisease76n12\\_1284.PDF](https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1992Articles/PlantDisease76n12_1284.PDF) (accessed 5.24.22).
- Hansen, Z. r., Knaus, B. j., Tabima, J. f., Press, C. m., Judelson, H. s., Grünwald, N. j., Smart, C. d., 2016. Loop-mediated isothermal amplification for detection of the tomato and potato late blight pathogen, *Phytophthora infestans*. J. Appl. Microbiol. 120, 1010–1020. <https://doi.org/10.1111/jam.13079>.
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M., 2004. Trichoderma species--opportunistic, avirulent plant symbionts. Nat. Rev. Microbiol. 2, 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>.
- Harman, G.E., Latorre, B., Agosin, E., San Martin, R., Riegel, D.G., Nielsen, P.A., Tronsmo, A., Pearson, R.C., 1996. Biological and Integrated Control of Botrytis Bunch Rot of Grape Using *Trichoderma spp.* Biol. Control 7, 259–266. <https://doi.org/10.1006/bcon.1996.0092>.
- Harrison, J.G., 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage? a review. Plant Pathol. 41, 384–416. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1992.tb02435.x>.
- Hashemi, M., Tabet, D., Sandroni, M., Benavent-Celma, C., Seematti, J., Andersen, C.B., Grenville-Briggs, L.J., 2022. The hunt for sustainable biocontrol of oomycete plant pathogens, a case study of *Phytophthora infestans*. Fungal Biol. Rev. 40, 53–69. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>.
- Haverkort, A.J., Boonekamp, P.M., Hutten, R., Jacobsen, E., Lotz, L.A.P., Kessel, G.J.T., Visser, R.G.F., van der Vossen, E.A.G., 2008. Societal Costs of Late Blight in Potato and Prospects of Durable Resistance Through Cisgenic Modification. Potato Res. 51, 47–57. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9089-y>.
- Hegnauer, R., 1973. Solanaceae, in: Hegnauer, R. (Ed.), Chemotaxonomie der Pflanzen: Eine Übersicht über die Verbreitung und die systematische Bedeutung der Pflanzenstoffe, livres Lehrbücher und Monographien aus dem Gebiete der exakten Wissenschaften. Birkhäuser, Basel, pp. 403–452. [https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9379-4\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9379-4_26).
- Hon H Ho, 2018. The Taxonomy and Biology of Phytophthora and Pythium. J. Bacteriol. Mycol. Open Access 6. <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2018.06.00174>.
- Horner, N.R., Grenville-Briggs, L.J., van West, P., 2012. The oomycete Pythium oligandrum expresses putative effectors during mycoparasitism of Phytophthora infestans and is amenable to transformation. Fungal Biol. 116, 24–41. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2011.09.004>
- Hossain, M., Ran, C., Liu, K., Ryu, C.-M., Rasmussen-Ivey, C., Williams, M., Hassan, M., Choi, S.-K., Jeong, H., Newman, M., Kloepper, J., Liles, M., 2015. Deciphering the conserved genetic loci implicated in plant disease control through comparative genomics of Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum. Front. Plant Sci. 6.

Howard, R.J., Garland, J.A., Seaman, W.L., 1994. Diseases and Pests of Vegetable Crops in Canada. Canadian Phytopathological Society.

Hussain, T., Singh, B.P., 2016. Molecular Diagnosis of Killer Pathogen of Potato: *Phytophthora infestans* and Its Management, in: Kumar, P., Gupta, V.K., Tiwari, A.K., Kamle, M. (Eds.), Current Trends in Plant Disease Diagnostics and Management Practices, Biologie Fongique. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–28. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-27312-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27312-9_1).

Hussain, T., Singh, B.P., Anwar, F., 2014. A quantitative Real Time PCR based method for the detection of *Phytophthora infestans* causing Late blight of potato, in infested soil. Saudi J. Biol. Sci. 21, 380–386. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.09.012>.

### I

Ivanov, A.A., Ukladov, E.O., Golubeva, T.S., 2021. *Phytophthora infestans*: An Overview of Methods and Attempts to Combat Late Blight. J. Fungi 7, 1071. <https://doi.org/10.3390/jof7121071>.

### J

Jeffers, S.N., 1987. Enhancing Detection of *Phytophthora cactorum* in Naturally Infested Soil. Phytopathology 77, 1475. <https://doi.org/10.1094/Phyto-77-1475>.

Jo, M.C., Liu, W., Gu, L., Dang, W., Qin, L., 2015. High-throughput analysis of yeast replicative aging using a microfluidic system. Proc. Natl. Acad. Sci. 112, 9364–9369. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510328112>.

Jones, D.G. (Ed.), 1998. The epidemiology of plant diseases. Kluwer, Dordrecht.

Judelson, H.S., 2014. *Phytophthora infestans*, in: Dean, R.A., Lichens-Park, A., Kole, C. (Eds.), Genomics of Plant-Associated Fungi and Oomycetes: Dicot Pathogens. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 175–208. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-44056-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-44056-8_9).

### K

Kamoun, S., 2006. A Catalogue of the Effector Secretome of Plant Pathogenic Oomycetes. Annu. Rev. Phytopathol. 44, 41–60. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143436>.

Kariuki, W.G., Mungai, N.W., Otaye, D.O., Thuita, M., Muema, E., Korir, H., Masso, C., 2020. Antagonistic effects of biocontrol agents against *Phytophthora infestans* and growth stimulation in tomatoes. Afr. Crop Sci. J. 28, 55–70. <https://doi.org/10.4314/acsj.v28is1.5S>

Kibrom, A., 2017. Stress biology and interactions between *Solanum* species and *Phytophthora infestans* Studies in laboratory and field conditions.

Knapp, S., 2002. Tobacco to tomatoes: a phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. J. Exp. Bot. 53, 2001–2022.

Kroon, L.P.N.M., Brouwer, H., de Cock, A.W.A.M., Govers, F., 2012. The Genus *Phytophthora* Anno 2012. *Phytopathology*® 102, 348–364. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-11-0025>.

Kruidhof, H., Elmer, W., 2020. Cultural Methods for Greenhouse Pest and Disease Management. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_10).

Kumbar, B., Mahmood, R., Nagesha, S.N., Nagaraja, M.S., Prashant, D.G., Kerima, O.Z., Karosiya, A., Chavan, M., 2019. Field application of *Bacillus subtilis* isolates for controlling late blight disease of potato caused by *Phytophthora infestans*. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 22, 101366. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101366>.

### L

Lal, M., Chaudhary, S., Sharma, S., Subhash, S., Kumar, M., 2022. Bio-Intensive Management of Fungal Diseases of Potatoes, in: Chakrabarti, S.K., Sharma, S., Shah, M.A. (Eds.), *Sustainable Management of Potato Pests and Diseases*. Springer, Singapore, pp. 453–493. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7695-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7695-6_19).

Lees, A.K., Wattier, R., Shaw, D.S., Sullivan, L., Williams, N.A., Cooke, D.E.L., 2006. Novel microsatellite markers for the analysis of *Phytophthora infestans* populations. *Plant Pathol.* 55, 311–319. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01359.x>.

Leesutthiphonchai, W., Vu, A.L., Ah-Fong, A.M.V., Judelson, H.S., 2018. How Does *Phytophthora infestans* Evade Control Efforts? Modern Insight Into the Late Blight Disease. *Phytopathology*® 108, 916–924. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-18-0130-IA>.

Li, Y., van der Lee, T., Zhu, J.H., Jin, G.H., Lan, C.Z., Zhu, S.X., Zhang, R.F., Liu, B.W., Zhao, Z.J., Kessel, G., Huang, S.W., Jacobsen, E., 2013. Population structure of *Phytophthora infestans* in China – geographic clusters and presence of the EU genotype Blue\_13. *Plant Pathol.* 62, 932–942. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02687.x>.

Li, Y., van der Lee, T.A.J., Evenhuis, A., van den Bosch, G.B.M., van Bekkum, P.J., Förch, M.G., van Gent-Pelzer, M.P.E., van Raaij, H.M.G., Jacobsen, E., Huang, S.W., Govers, F., Vleeshouwers, V.G.A.A., Kessel, G.J.T., 2012. Population Dynamics of *Phytophthora infestans* in the Netherlands Reveals Expansion and Spread of Dominant Clonal Lineages and Virulence in Sexual Offspring. *G3 GenesGenomesGenetics* 2, 1529–1540. <https://doi.org/10.1534/g3.112.004150>.

Lu, X., Zheng, Y., Zhang, F., Yu, J., Dai, T., Wang, R., Tian, Y., Xu, H., Shen, D., Dou, D., 2020. A Rapid, Equipment-Free Method for Detecting *Phytophthora infestans* in the Field Using a Lateral Flow Strip-Based Recombinase Polymerase Amplification Assay. *Plant Dis.* 104, 2774–2778. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-20-0203-SC>.

### M

Madden, L.V., 1983. Measuring and Modeling Crop Losses at the Field Level. *Phytopathology* 73, 1591. <https://doi.org/10.1094/Phyto-73-1591>.

- Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, Z., Ullah, R., Ahmad, H., 2017. Late Blight of Potato (*Phytophthora infestans*) I: Fungicides Application and Associated Challenges. *Turk. J. Agric. - Food Sci. Technol.* 5, 261. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i3.261-266.1038>.
- Marchoux, G., Gognalons, P., Sélassié, K.G., 2008. *Virus des Solanacées: Du génome viral à la protection des cultures*. Editions Quae.
- McCalley, D.V., 2002. Analysis of the Cinchona alkaloids by high-performance liquid chromatography and other separation techniques. *J. Chromatogr. A, Chromatographic and Electrophoretic Analysis of Secondary Metabolites of Plants* 967, 1–19. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)01557-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)01557-6)
- McKinlay, R.G., Spaul, A.M., Straub, R.W., 1992. Pests of Solanaceous Crops, in: McKinlay, Roderick G. (Ed.), *Vegetable Crop Pests*. Palgrave Macmillan UK, London, pp. 263–326. [https://doi.org/10.1007/978-1-349-09924-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-349-09924-5_8).
- Melhus, I.E., 1915. Germination and Infection with the Fungus of the Late Blight of Potato (*Phytophthora Infestans*). Agricultural Experiment Station of the University of Wisconsin.
- Mengesha, G.G., 2017. resistance and reduced frequency of fungicide application in gamo gofa zone, southern ethiopia 100.
- Michel, P., Claud, F., 2003. *Histoires de légumes: des origines à l'orée du XXIe siècle*. INRA, paris.
- Montarry, J., 2007. Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte *Solanum tuberosum* 178.
- Montarry, J., Glais, I., Corbiere, R., Andrivon, D., 2008. Adaptation to the most abundant host genotype in an agricultural plant–pathogen system – potato late blight. *J. Evol. Biol.* 21, 1397–1407. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2008.01557.x>.
- Montesinos, E., Bonaterra, A., 2009. Pesticides, Microbial, in: Schaechter, M. (Ed.), *Encyclopedia of Microbiology (Third Edition)*. Academic Press, Oxford, pp. 110–120. <https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00125-5>.
- Motti, R., 2021. The Solanaceae Family: Botanical Features and Diversity, in: Carputo, D., Aversano, R., Ercolano, M.R. (Eds.), *The Wild Solanums Genomes, Compendium of Plant Genomes*. Springer International Publishing, Cham, pp. 1–9. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30343-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30343-3_1).
- Muchiri, F.N., Narla, R.D., Olanya, O.M., Nyankanga, R.O., Ariga, E.S., 2010. Efficacy of fungicide mixtures for the management of *Phytophthora infestans* (US-1) on potato. *Phytoprotection* 90, 19–29. <https://doi.org/10.7202/038983ar>.
- Muniappan, R., Heinrichs, E.A., Fayad, A., 2016. IPM Packages for Tropical Vegetable Crops, in: Muniappan, R., Heinrichs, E.A. (Eds.), *Integrated Pest Management of Tropical Vegetable Crops*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 33–40. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-0924-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-024-0924-6_2).

**N**

Neelabh, 2022. Alkaloid, in: Vonk, J., Shackelford, T.K. (Eds.), *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*. Springer International Publishing, Cham, pp. 172–174. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55065-7\\_218](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55065-7_218).

Nelson, S.C., 2008. Late Blight of Tomato (*Phytophthora infestans*) 10. Plant Disease. Cooperative extension service. College of Tropical Agriculture and Human Resources.

**O**

Olanya, O.M., Adipala, E., Hakiza, J.J., Kedera, J.C., Ojiambo, P., Mukalazi, J.M., Forbes, G., Nelson, R., 2001. Epidemiology and population dynamics of *Phytophthora infestans* in Sub-Saharan Africa: Progress and constraints. *Afr. Crop Sci. J.* 9. <https://doi.org/10.4314/acsj.v9i1.27638>.

Olmstead, R.G., Bohs, L., 2007. a summary of molecular systematic research in solanaceae: 1982-2006. *Acta Hort.* 255–268. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.745.11>.

Olmstead, R.G., Bohs, L., Migid, H.A., Santiago-Valentin, E., Garcia, V.F., Collier, S.M., 2008. A molecular phylogeny of the Solanaceae. *taxon* 57, 1159–1181. <https://doi.org/10.1002/tax.574010>.

**P**

Pfeufer, E., Leonberger, K., 2016. sustainable\_disease\_management\_of\_solanaceous\_crops.pdf..

Prohens, J., Nuez, F. (Eds.), 2008. *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae*, Handbook of plant breeding. Springer, New York..

Pule, B.B., Meitz, J.C., Thompson, A.H., Linde, C.C., Fry, W.E., Langenhoven, S.D., Meyers, K.L., Kandolo, D.S., van Rij, N.C., McLeod, A., 2013. *Phytophthora infestans* populations in central, eastern and southern African countries consist of two major clonal lineages. *Plant Pathol.* 62, 154–165. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02608.x>.

Puopolo, G., Cimmino, A., Palmieri, M. c., Giovannini, O., Evidente, A., Pertot, I., 2014. *Lysobacter capsici* AZ78 produces cyclo(l-Pro-l-Tyr), a 2,5-diketopiperazine with toxic activity against sporangia of *Phytophthora infestans* and *Plasmopara viticola*. *J. Appl. Microbiol.* 117, 1168–1180. <https://doi.org/10.1111/jam.12611>.

**R**

Raffaele, S., Kamoun, S., 2012. Genome evolution in filamentous plant pathogens: why bigger can be better. *Nat. Rev. Microbiol.* 10, 417–430. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2790>

Rai, S., Solanki, M.K., Solanki, A.C., Surapathrudu, K., 2019. Biocontrol Potential of *Trichoderma spp.*: Current Understandings and Future Outlooks on Molecular Techniques, in: Ansari, R.A., Mahmood, I. (Eds.), *Plant Health Under Biotic Stress: Volume 2: Microbial Interactions*. Springer, Singapore, pp. 129–160. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6040-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6040-4_7)

Rakotonindraina, T.F., 2012. Analyse et modélisation des effets des pratiques culturales sur les épidémies de mildiou de la pomme de terre. Adaptation du modèle SIPPOM (Simulator for Integrated Pathogen POPulation Management) au pathosystème (phd).

Raven, P.H., Evert, R.F., Eichhorn, S.E., Bouharmont, J., 2000. Biologie végétale. De Boeck Supérieur, Louvain-la-Neuve.

Rekad, F.Z., Cooke, D.E.L., Puglisi, I., Randall, E., Guenaoui, Y., Bouznad, Z., Evoli, M., Pane, A., Schena, L., Magnano di San Lio, G., Cacciola, S.O., 2017. Characterization of *Phytophthora infestans* populations in northwestern Algeria during 2008-2014. Fungal Biol. 121, 467–477. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2017.01.004>.

Rolot, J.L., Michelante, D., Dupuis, B., 2005. Bilan des recherches menées sur le mildiou de la pomme de terre au cours des années 2000 à 2005 17.

Roy, S.K., Sharma, R.C., Trehan, S.P., 2001. Integrated nutrient management by using farmyard manure and fertilizers in potato–sunflower–paddy rice rotation in the Punjab. J. Agric. Sci. 137, 271–278. <https://doi.org/10.1017/S0021859601001472>.

### S

Sedláková, V., Dejmalová, J., Hausvater, E., Sedlák, P., Doležal, P., Mazáková, J., 2011. Effect of *Phytophthora infestans* on potato yield in dependence on variety characteristics and fungicide control. Plant Soil Environ. 57 (2011), 486–491. <https://doi.org/10.17221/289/2011-PSE>.

Shah, V.V., Shah, N.D., Patrekar, P.V., 2013. Medicinal Plants from Solanaceae Family. Res. J. Pharm. Technol. 6, 143–151.

Sharma, S., Lal, M., 2022. Advances in Management of Late Blight of Potato, in: Chakrabarti, S.K., Sharma, S., Shah, M.A. (Eds.), Sustainable Management of Potato Pests and Diseases. Springer, Singapore, pp. 163–184. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7695-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7695-6_7).

Śliwka, J., Jakuczun, H., Chmielarz, M., Hara-Skrzypiec, A., Tomczyńska, I., Kilian, A., Zimnoch-Guzowska, E., 2012. A resistance gene against potato late blight originating from *Solanum michoacanum* maps to potato chromosome VII. Theor. Appl. Genet. 124, 397–406. <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1715-4>.

Śliwka, J., Jakuczun, H., Lebecka, R., Marczewski, W., Gebhardt, C., Zimnoch-Guzowska, E., 2006. A novel late blight resistance gene Rpi-phu1 mapped to potato chromosome IX is not related to long vegetation period. Theor Appl Genet. TAG Theor. Appl. Genet. Theor. Angew. Genet. 113, 685–95. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0336-9>.

Stevenson, W.R., 2009. Late blight control strategies in the united states. Acta Hort. 83–86. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.834.8>.

Stone, A., 2011. Organic Management of Late Blight (*Phytophthora infestans*) of Potato and Tomato 7.

Suffert, F., Latxague, É., Sache, I., 2009. Plant pathogens as agroterrorist weapons: assessment of the threat for European agriculture and forestry. *Food Secur.* 1, 221–232. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0014-2>

### T

Tian, Y.E., Yin, J.L., Sun, J.P., Ma, Y.F., Wang, Q.H., Quan, J.L., Shan, W.X., 2016. Population genetic analysis of *Phytophthora infestans* in northwestern China. *Plant Pathol.* 65, 17–25. <https://doi.org/10.1111/ppa.12392>.

Tomar, S., Khan, M., Lal, M., Singh, B., 2019. Efficacy of Biosurfactant Producing Bacteria (*Pseudomonas aeruginosa*) against Black Scurf (*Rhizoctonia solani*) of Potato. *Pestic. Res. J.* 31, 126. <https://doi.org/10.5958/2249-524X.2019.00020.7>.

Tör, M., 2008. Tapping into molecular conversation between oomycete plant pathogens and their hosts. *Eur. J. Plant Pathol.* 122, 57–69. <https://doi.org/10.1007/s10658-008-9288-z>.

Trout, C.L., Ristaino, J.B., Madritch, M., Wangsomboondee, T., 1997. Rapid Detection of *Phytophthora infestans* in Late Blight-Infected Potato and Tomato Using PCR. *Plant Dis.* 81, 1042–1048. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.9.1042>.

Tsao, P.H., 1977. Inhibition of *Mortierella* and *Pythium* in a *Phytophthora*-isolation Medium Containing Hymexazol. *Phytopathology* 77, 796. <https://doi.org/10.1094/Phyto-67-796>

Tsedaley, B., 2014. Late Blight of Potato (*Phytophthora infestans*) Biology, Economic Importance and its Management Approaches. *J. Biol.* 12.

### V

van de Mortel, J.E., Tran, H., Govers, F., Raaijmakers, J.M., 2009. Cellular Responses of the Late Blight Pathogen *Phytophthora infestans* to Cyclic Lipopeptide Surfactants and Their Dependence on G Proteins. *Appl. Environ. Microbiol.* 75, 4950–4957. <https://doi.org/10.1128/AEM.00241-09>.

van Lenteren, J.C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W.J., Urbaneja, A., 2018. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl* 63, 39–59. <https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4>.

### W

Walker, C.A., van West, P., 2007. Zoospore development in the oomycetes. *Fungal Biol. Rev.* 21, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2007.02.001>.

Whisson, S.C., Boevink, P.C., Wang, S., Birch, P.R., 2016. The cell biology of late blight disease. *Curr. Opin. Microbiol.* 34, 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2016.09.002>.

Wichrowska, D., externe, L. vers un site, fenêtre, celui-ci s'ouvrira dans une nouvelle, 2022. Antioxidant Capacity and Nutritional Value of Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.) as a Dependence of Growing Conditions and Long-Term Storage. *Agriculture* 12, 21. <https://doi-org.sndl1.arn.dz/10.3390/agriculture12010021>.

Widmark, A.-K., Andersson, B., Sandström, M., Yuen, J.E., 2011. Tracking *Phytophthora infestans* with SSR markers within and between seasons – a field study in Sweden. *Plant Pathol.* 60, 938–945. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02446.x>.

Willcox, J.K., Catignani, G.L., Lazarus, S., 2003. Tomatoes and Cardiovascular Health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 43, 1–18. <https://doi.org/10.1080/10408690390826437>

Xu, Z., Chang, L., 2017. Solanaceae, in: Xu, Z., Chang, L. (Eds.), *Identification and Control of Common Weeds: Volume 3*. Springer, Singapore, pp. 267–295. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5403-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5403-7_9).

### Y

Yao, Y., Li, Y., Chen, Z., Zheng, B., Zhang, L., Niu, B., Meng, J., Li, A., Zhang, J., Wang, Q., 2016. Biological Control of Potato Late Blight Using Isolates of *Trichoderma*. *Am. J. Potato Res.* 93, 33–42. <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9475-3>.

Yedidia, null, Benhamou, null, Chet, null, 1999. Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L. ) By the biocontrol agent *trichoderma harzianum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 65, 1061–1070. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.3.1061-1070.1999>.

Yoshida, K., Schuenemann, V.J., Cano, L.M., Pais, M., Mishra, B., Sharma, R., Lanz, C., Martin, F.N., Kamoun, S., Krause, J., Thines, M., Weigel, D., Burbano, H.A., 2013. The rise and fall of the *Phytophthora infestans* lineage that triggered the Irish potato famine. *eLife* 2, e00731. <https://doi.org/10.7554/eLife.00731>.

Yuen, J.E., Andersson, B., 2013. What is the evidence for sexual reproduction of *Phytophthora infestans* in Europe *Plant Pathol.* 62, 485–491. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02685.x>.

### Z

Zegeye, E.D., Santhanam, A., Gorf, D., Kassa, B., 2011. Biocontrol activity of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* against *Phytophthora infestans* under greenhouse conditions 7, 14.

### Sites internet

<https://www.fao.org/faostat/fr/#home>

<https://madr.gov.dz/>

## Résumé

La culture des solanacées occupe une place très importante dans le monde mais se voit également menacée par de nombreuses maladies qui provoquent des dégâts considérables. Parmi ces pathologies, le mildiou causé par l'oomycète *Phytophthora infestans*, semble posé un sérieux problème dans le domaine agricole. En effet, il est considéré comme le principal ennemi de cette famille et les ravages occasionnés chaque année par cette maladie récurrente sont tels que les producteurs doivent obligatoirement recourir à des traitements préventifs de types fongicides appropriés pour réduire l'impact énorme de ce pathogène sur les productions maraichères. Ce travail a également fait le point sur les différentes stratégies mise en place pour combattre cette maladie et en mettant l'accent sur la lutte intégrée comme meilleure approche pour la protection des cultures.

**Mots clés :** Mildiou, *Phytophthora infestans*, solanacées, stratégies de lutte

## Abstract

Solanaceae crop occupies a very important place in the world but is also threatened by numerous diseases which cause considerable damage. Among these pathologies, mildew caused by the oomycete *Phytophthora infestans*, seems to pose a serious problem in the agricultural field. In fact, it is considered the main enemy of this family and the devastation caused each year by this recurring disease is such that producers must resort to preventive treatments of the appropriate fungicide type to reduce the enormous impact of this pathogen on market garden production. This work also took stock of the different strategies put in place to combat this disease and emphasizing integrated pest management as the best approach for crop protection.

**Key words:** Mildew, *Phytophthora infestans*, Solanaceae, control strategies