الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Mémoire

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

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Phytopathologie

Thème

Comportement de quelques variétés de pomme de terre vis-à-vis du *Phytophthora infestans* (Mont. de Bary, 1876) Agent du Mildiou.

Présenté par :

Melle ABDOUDI Khaoula

Mr. FEKIR Adel

Soutenue le: 30/06/2025

Devant le jury composé de :

Dr NABI Fahima	**MCA**	U. Médéa	Président
Dr KARA Mohamed	**Grade**	U. Médéa	Examinateur
Dr KHELLAF Nora	**MCA**	U. Médéa	Encadreur

Année universitaire 2024/2025

Remerciement

Ce mémoire est le fruit des efforts fournis et des sacrifices consentis par plusieurs personnes que nous ne pourrons oublier de remercier.

Tout d'abord nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pourvoir réaliser ce travail de recherche

Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur: Mme KHELLAF Nora

Pour ces précieux Conseils et orientations qu'elle nous a prodigués

Tout le long de notre travail de recherche. Nos sincères remerciements à nos enseignants du Département des sciences de la nature et de la vie de la Faculté des Sciences – Université Yahia Farès de Médéa pendant les cinq années précédentes. Nous remercions les membres du jury KHELLAF Nora , NABI Fahima , KARA Mohamed, pour leur présence, pour leur lecture attentive de ce mémoire, ainsi que pour les remarques qu'ils nous adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer notre travail.

Enfin, que tous ceux qui, de loin ou de près, ont participé à la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

Dédicace

À ceux qui ont été la lumière illuminant mon chemin dans la vie,
à mes chers parents...
À mon père, ce pilier inébranlable,
qui m'a appris que la volonté crée des miracles,
et qui a semé en moi l'amour du travail et l'a arrosé de patience et de persévérance.
À ma mère, source de tendresse et âme de ma vie,
toi dont les prières ont élevé ma motivation,
et dont la douceur a apaisé mon cœur dans les moments les plus sombres.
Tu es cette lumière éternelle, même dans les nuits les plus noires.
À mes sœurs (kamer, Aziza, fadila) et frères (adel, mohamed, alilo, ramzi)
Et les belles sœurs (kami,nassrine et djamila) vous êtes le battement chaud de mon cœur, et le sourire sincère de mes jours.Merci pour votre présence, votre patience, et votre soutien inestimable.
À mes fidèles amis (maissa,ikram,malake,ilham et lilia et tout les fille de la résidence universitaire vous avez été l'appui dans la fatigue, le rire dans les épreuves, et le soutien à chaque étape.Votre présence a allégé le chemin, et rendu la réussite plus belle.
À mes professeurs respectés,
qui n'ont jamais ménagé leurs efforts pour partager leur savoir et leurs conseils,
je vous adresse toute ma gratitude et mon respect.
Et à tous ceux qui ont laissé une empreinte dans mon cœur,
par un mot bienveillant, un sourire sincère ou un geste discret...
Je dédie ce travail modeste avec tout mon amour, ma reconnaissance et ma fidélité.

Abdoudi khaoula

Dédicace

j'ai le plaisir de dédier ce travail :

À mes très chers parents, pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible, votre confiance et patience, et pour vos sacrifices infinis, vous avez été mes premiers professeurs, mes plus grands supporters et ma source d'inspiration. ce mémoire est le fruit de vos efforts et de votre foi en moi. Merci infiniment pour tout.

À mes chers frères, pour votre camaraderie, pour votre soutien indéfectible, votre complicité et votre amour. vos conseils, et les innombrables souvenirs qui ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Votre présence à mes côtés a été une force inestimable. Merci d'être mes frères. ce mémoire est aussi le vôtre.

À mes amis(e) et collègues, pour votre soutien, vos rires et vos encouragements.votre présence, vos discussions et votre bonne humeur ont été précieuses. Ensemble, nous avons grandi et appris, et je suis fier d'avoir partagé ce chemin avec vous. Merci d'avoir partagé les bons comme les mauvais moments de ces années d'études. Votre amitié a été une source de force et de motivation.

À mes chers professeurs, pour votre guidance, votre soutien et votre inspiration tout au long de ce parcours. vos enseignements ont été essentiels à ma réussite.

À toutes les personnes qui me reconnaissent et qui m'ont apporté leur aide et leur contribution à la réalisation de ce travail.

Fekir adel

Résumé

Cette étude vise à évaluer in vitro la résistance de trois variétés de pomme de terre (*Spunta*, *Désirée* et *Sarpo Mira*) face au pathogène *Phytophthora infestans*, agent responsable du mildiou. Les résultats révèlent une grande variabilité de comportement entre les variétés, Spunta et Désirée se sont montrées sensibles, avec un temps d'incubation court (4-5 jours), un temps de latence réduit, des lésions étendues et une sporulation élevée, témoignant d'un faible niveau de résistance. À l'inverse, Sarpo Mira s'est distinguée par un retard d'apparition des symptômes (7 jours), une fructification tardive, des lésions de faible étendue et une sporulation réduite. Ces résultats indiquent une résistance marquée, possiblement liée à la présence de gènes R de type Rpi (Rpi-blb1, Rpi-blb2, Rpi-vnt1), connus pour déclencher une réaction hypersensible et limiter la propagation du pathogène.

Mots clés : *Phytophthora infestans*, mildiou, pomme de terre, variétés, évaluation in vitro, résistance.

Abstract

This study aims to evaluate in vitro the resistance of three potato varieties (*Spunta*, *Désirée*, and *Sarpo Mira*) to *Phytophthora infestans*, the causal agent of late blight. The results reveal a significant variability in behavior among the varieties. *Spunta* and *Désirée* were found to be susceptible, with a short incubation period (4–5 days), a reduced latency period, extensive lesions, and high sporulation, indicating a low level of resistance. In contrast, *Sarpo Mira* showed delayed symptom appearance (7 days), late sporulation, small lesion size, and low sporulation. These findings suggest a marked resistance, likely due to the presence of R genes of the Rpi type (*Rpi-blb1*, *Rpi-blb2*, *Rpi-vnt1*), known to trigger a hypersensitive response and limit pathogen spread.

Keywords: *Phytophthora infestans*, late blight, potato, varieties, in vitro evaluation, resistance.

الملخص

هدف هذه الدراسة إلى تقييم مقاومة ثلاثة أنواع من البطاطس في المختبر (سبونتا ، ديزيري ، ساربو ميرا) لمسببات الأمراض *Phytophthora infestans* العامل المسؤول عن اللفحة المتأخرة

تكشف النتائج عن تباين كبير في السلوك بين الأصناف ، وقد أظهرت سبونتا و ديزيري أنها حساسة ، مع وقت حضانة قصير (4-5 أيام) ، ووقت كمون منخفض ، وآفات واسعة النطاق ، وبوغ عالي ، مما يدل على مستوى منخفض من المقاومة. على العكس من ذلك ، تميز ساربو ميرا بتأخير ظهور الأعراض (7 أيام) ، والإثمار المتأخر ، والآفات الصغيرة وتقليل التبويض .

تشير هذه النتائج إلى مقاومة ملحوظة ربما مرتبطة بوجود جينات من نوع

Rpi (Rpi-blb1, Rpi-blb2, Rpi-vnt1)

المعروف أنها تؤدي إلى تفاعل شديد الحساسية وتحد من انتشار العامل الممرض.

الكلمات المفتاحية: اللفحة المتأخرة ، البطاطس ، الأصناف ، التقييم في المختبر *Phytophthora infestans* ، المقاومة ،

Liste des figures

FigureN°1: Evolution de la production mondialen pomme de terre **…….....6**

FigureN°2: Taux de consommation mondiale annuelle par habitant**…….....6**

FigureN°3: Principaux pays producteurs de pomme de terre**…….....7**

FigureN°4: Caractéristiques morphologiques et cycle végétatif de la pomme de terre **….11**

FigureN°5: les différentes méthodes de multiplication de pomme de terre**…….....…15**

FigureN°6: Evolution physiologique du tubercule de pomme de terre **…….....….16**

Figure N°7 .1.A, B, C, D: Symptômes sur feuilles **…….....24**

Figure 7.2. E: Symptômes sur bouquets **…….....25**

Figure.7.3. F: Symptôme sur tige **…….....25**

Figure 7.4: Symptôme sur tubercules**…….....….....……26**

Figure 7.5: Un champ infecté par le mildiou**…….....…….....27**

FigureN°8: Des déchets organiques **…….....…35**

FigureN°9: INFINITO est un fongicide préventif **…….....…..36**

FigurN°10: Pulvérisation des fongicides sur un champ de pomme de terre**…….....37**

FigureN° 11: Gouttelettes de mildiou appliqué sur les feuilles**…….....39**

FigureN°12: Plante des différentes variétés plantés dans des sacs de culture**….....42**

FigureN°13: Les étapes de Préparation du milieu de culture **…….....…43**

FigureN°14: Les étapes de Repiquage la souche de P. infestans **…..…….....…....44**

Figure N°15: Disposition des folioles détachées à l'intérieur de la boîte de Pétri **....……45**

Figure N° 16: les étapes de Préparation de l'inoculum**…….....46**

Figure N°17: Durée d'incubation de P. infestans selon les variétés testées**…….....49**

Figure N°18: Analyse de la variance du temps d'incubation**…….....49**

Figure N°19: Analyse de la variance du temps de latence**…….....50**

Figure N°20: Evolution de la taille des surfaces des lesion…….....**51**

Figure N°21: Analyse de la variance des tailles des lésions…….…….....**52**

Figure N°22: Intensité de sporulation selon les variétés…….....**53**

Figure N°23: Analyse de la variance de l'intensité de sporulation…….....**53**

Liste des tableaux

Tableau N°1: Evolution de la superficie et de la production de pomme de terre en Algérie**...7**

Tableau N°2: Quelques doneness sur les variétés utilisées au cours de notre étude**……41**

Tableau N°3: Test de Newman-keuls du temps de latense pour les trois variétés étudiées**.....50**

Tableau N°4: Test de Newman-keuls de la taille des lésions pour les trois variétés étudiées**…….....52**

Tableau N°5: Test de Newman-keuls de l'intensité de sporulation**……...….53**

Table des matières

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction **……...1**

Chpitre1 01: Généralités sur la pomme de terre**……..…….....3**

I-.Origine et historique de la pomme de terre **……...……...4**

II- Importance de la culture de la pomme de terre **…….....5**

II-1 Dans le monde **…….....5**

II-2. En Algérie**……..…7**

III- Description Botanique et morphologique **…….…...9**

III.1. L'appareil aérienne **……...9**

III .1.1. Feuilles**……..……...10**

III .1.2. Fleurs **……...10**

III.1.3. Fruits**……....11**

III.2 L'appareil souterraine **…….…....11**

III.2.1.Morphologie externe et interne du tubercule **……....12**

III.2.2. Caractéristiques du tubercule**……...13**

IV- Culture de la pomme de terre: **……...13**

IV.1. Exigences **……...13**

IV.1.1. Température **……....13**

IV.1.2. Sol**…….....14**

IV.1.3. Fertilisation**……..14**

IV.1.4. Eau…….....15

V- Physiologie et multiplication de la pomme de terre…….....15

V.1. Cycle sexué…….....16

V.2. Cycle végétatif…….....16

V.2.1. Dormance…….....17

V.2.2. Germination…….....17

V.2.3. Tubérisation…….....17

Chapitre 02: Généralités sur les maladies de pomme de terre…….....18

I- La cause de la maladie.....19

II. Les différentes maladies.....19

II.1 Maladies cryptogamiques.....19

II.2 Maladies bactériennes……....20

II.3 Maladies virales.....20

Chapitre 03: le mildiou de pomme de terre…….....22

I.Généralité sur le mildiou de la pomme de terre …….....23

I.1 Historique.....23

I.2 Description de la maladie.....23

I.3 Symptomatologie ……23

I.3.1 Symptômes foliaires……..…23

I.3.2 Symptômes sur bouquets terminaux et tiges ……24

I.3.3 Symptômes sur tubercules ……..25

I.3.4 Infection sur des cultures de pomme de terre ……...…26

II. L'agent pathogène (Phytophthora infestans) ……...…27

II.1 Position taxonomique ……..…..27

II.2 Description morphologique……...…28

II.3 Epidémiologie …….……...…28

II.4 Conditions favorables ……..….31

II.4.1 Facteurs climatiques…….…...31

II.4.2 Facteurs du sol ……..…..32

II.4.3 Prédisposition de l'hôte ……...….32

Chapitre 04 : la lutte contre le mildiou……...….33

I- la lutte contre le mildiou……...…34

I.1.Les méthodes de la lutte…….....34

I.1.1 La lutte prophylactique……..…..34

I.1.2. La lutte chimique…….……35

I.1.3. La lutte génétique…….…37

I.1.4. La lutte biologique …….….38

I.1.5. Les alternatives au cuivre……..38

Chapitre 05: matériel et méthode……..……..40

I.Matériel végétal……...…41

I.1.Obtention des folioles……...…41

I.1.1.Préparation des tubercules ……...…41

I.1.2.Préparation des pots……...…41

I.1.3.Plantation des tubercules.....41

II. Matériel fongique.....42

II .1. Préparation du milieu de culture ……..…….…..43

II.2. Isolats utilisés …….…..44

II.3. Inoculation artificielle des feuilles détachées……44

II.3.1.Préparation des folioles**.....44**

II.3.2.Préparation des boites de Pétri avec folioles**……45**

II.3.3. Préparation de l'inoculum**……...45**

II.3.4. Inoculation et incubation des folioles**.....46**

II.3.5. Critères d'évaluation de l'agressivité du pathogène**……46**

Chapitre 06 :Résultats et Discussions**……..47**

Résultats : Evaluation in vitro du comportement des variétés de pomme de terre à l'égard des isolats de P. infestans sur feuilles détachées**……49**

1.Evaluation du temps d'incubation**…….....49**

2.Comportement selon le temps de latence**……..50**

3.Comportement selon la surface des lésions**……..51**

4.Comportement selon l'intensité de sporulation**....…… 52**

Discussions :……54

1. Temps d'incubation**……..54**

2. temps de latence**…….....54**

3. surface des lésions**……54**

4. Intensité de sporulation**……..…55**

5. comparaison générale**……...55**

Discussion générale**……..…56**

Conclusion Générale**……58**

References Bibliographique **…….…...61**

Liste de Abréviation

- ***P. infestans*:** *Phytophthora infestans*
- **% :** Pourcentage
- **Kg :** Kilogramme
- **g :** gramme
- **°C :** Degré Celsius
- **mm :** Millimétre
- **cm :** centimétre
- **ml :** milliltre
- **min** : minutes
- **µm:** Micromètres
- **n° :** Numéro
- **ENSA :** Ecole Nationale Supérieure Agronomique
- **INPV:** Institut National de la Protection des Végétaux
- **CNCC :** Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plante
- **H2O2 :**Eau Oxygénée
- **PVY :** Virus Y de la pomme de terre
- **PLRV :** Virus de l'enroulement de la pomme de terre
- **PVX :** Virus X de la pomme de terre
- **AMV :** Alfalfa Mosaic Virus
- **spp :**species pluralis
- **al :** Collaborateurs

Introduction générale

Depuis sa découverte en Amérique latine précisément, au Pérou par les explorateurs au 14ème siècle, la pomme de terre est devenue aujourd'hui l'une des cultures la plus populaire et la plus consommée au monde, surtout dans les pays à grande expansion démographique, comme la Chine et l'Inde, ces derniers pays participent avec 30% de la production mondiale. En Afrique, l'Egypte, l'Algérie, le Maroc et l'Afrique du Sud fournissent 80% de la production totale de pomme de terre (Brabet et *al*. 1999).

Cette culture, considérée comme la plus importante au monde parmi les cultures vivrières non céréalières, fait partie intégrante de l'art culinaire de nombreuses populations. Certaines variétés sont cultivées pour des applications industrielles, tandis que d'autres sont destinées à la consommation en frais.

Différents parasites et maladies s'attaquent à la pomme de terre, mais dans les zones de culture où le climat est tempéré, le mildiou demeure la menace la plus sérieuse. Le mildiou provoqué par l'oomycete, Phytophthora infestans connu depuis la (Grande Famine) qui a sévi en Irlande vers 1845 où la maladie a ravagé les récoltes de pomme de terre pendant plusieurs années successives. Aux alentours de ce moment-là, près d'un million d'Irlandais ont succombé à la famine tandis qu'un nombre équivalent a choisi de fuir vers les États-Unis pour rebâtir leur existence. L'agent du mildiou reste la source de pertes significatives lors de la récolte dans diverses régions du globe. Des recherches effectuées sur le terrain indiquent que les épidémies, en règle générale, engendrent des baisses de productivité allant de 40% à 70%, en fonction de la sensibilité des variétés et des conditions environnementales. Si l'infection se produit tôt dans la saison, on risque de perdre l'ensemble de la récolte. (Hauslanden et München, 2006).

En Algérie, le mildiou représente également une des principales contraintes biotiques à la culture de la pomme de terre, où d'importantes pertes ont été notées en 2007 sur l'ensemble du territoire national (Beninal et *al*. 2008). Chaque année, des épidémies régionales sont signalées en Europe de l'Ouest et au centre de l'Algérie sur les deux cultures

principales : la pomme de terre et la tomate. Dans notre pays, on note régulièrement des épidémies sévères de mildiou durant le printemps et l'automne (Corbière et *al*. 2010).

Phytophthora infestans a deux types de compatibilité sexuelle (A1 et A2), tous deux sont originaires du Mexique, cependant, seul le type sexuel A1 était présent dans les champs européens de pomme de terre jusqu'en 1984, où le type sexuel A2 a été signalé pour la première fois en Suisse (Hohl et Iselin, 1984).

D'après Beninal et al. (2008) ainsi que Corbière et al. (2010), le type sexuel A2 a été observé avec une fréquence considérable dans les cultures de pommes de terre en Algérie, plus spécifiquement dans les zones côtières et occidentales, bien que la présence du type A1 soit également notée. Par contre, lorsqu'il s'agit de la culture des tomates, seul le type A1 a été identifié.

Il semble que la coexistence de ces deux types renforce considérablement la résistance des races pathologiques face aux fongicides tels que le métalaxyl. De plus, la diversité génétique au sein des races pathologiques leur offre la possibilité d'échapper aux gènes résistants présents dans les variétés de pommes de terre considérées comme résistantes au P. infestans. Il est envisageable que la recombinaison sexuelle des isolats algériens soit la cause de l'émergence de nouvelles souches plus virulentes, susceptibles de créer d'importants problèmes pour la culture de la pomme de terre en Algérie.

Les données actuelles concernant la variation génétique des populations de l'agent infectieux demeurent encore méconnues en Algérie. Cependant, les premières études ont révélé une variabilité comportementale chez plusieurs variétés cultivées en Algérie.

Le but de notre expérimentation est donc d'étudier les composantes de la résistance, chez trois variétés de pomme de terre vis-à-vis du P. infestans. Nous voulons surtout vérifier la résistance de la variété Sarpo Mira jugée résistante au mildiou en confrontation avec les autres variétés et connaitre le niveau de résistance de cette variété vis - à-vis de ces profils pathologiques. Les tests ont porté sur l'inoculation in vitro des feuilles détachées des trois variétés : Désirée, Spunta et Sarpo Mira.

Chpitre I:

Généralités sur

la pomme de terre

I-.Origine et historique de la pomme de terre:

La pomme de terre est une plante à cycle de vie annuel originaire d'Amérique du Sud.

Pedro de Cieza, un Espagnol, l'a découverte pour la première fois au Pérou en 1533. Donc, depuis les Andes péruviennes où elle était utilisée par les Incas comme

Cette plante a été introduite en Europe (en Espagne) par les marins espagnols en 1534. Elle a été cultivée par des moines de Séville en 1573, sous le nom de Papa.

Depuis ce temps, la pomme de terre va s'imposer en Europe. Elle commence par l'Espagne où elle est appelée patata, puis vient l'Italie où on l'appelle taratoufli. Par la suite, elle se répand en Irlande (potato), en Allemagne et enfin en France. L'ingénieur français Antoine Augustin Parmentier a utilisé l'expression « Pomme de terre » pour décrire les tubercules, et ce, en 1716.

C'est principalement grâce au pharmacien Augustin Parmentier que cette espèce a gagné en popularité ;il l'a suggérée comme une alternative alimentaire lors des périodes de pénurie, notamment après la famine de 1769-1770 , (Gernot, 2006).

Depuis, la production a connu une progression spectaculaire et en l'espace d'une génération, elle est devenue l'un des aliments les plus importants en Europe. On suppose que la pomme de terre aurait été introduite en Europe par deux routes distinctes. Deux entités distinctes ont émergé, l'une sous l'égide de l'Espagne et l'autre de l'Angleterre, durant la seconde moitié du XVIe siècle. Il est probable que les Premiers tubercules introduits en Europe étaient de la sous-espèce indigina, (Polese, 2006). Cela a pris cent cinquante ans pour surmonter les préjugés et l'ignorance avant que la pomme de terre ne se mette en place en France. Introduite en Angleterre en 1594, la pomme de terre a souvent été perçue comme un élixir de longévité à travers la Manche, Suite à sa popularisation, les médecins ont rapidement compris comment exploiter les propriétés apaisantes des feuilles dans le traitement des névralgies et des rhumatismes, (Debuigne et *al*.2009).

Il est probable que la pomme de terre a été introduite en Algérie pour la première fois au XVIe siècle par les Maures andalous, qui ont contribué à sa diffusion.

D'autres plantations dans la zone comprennent : tomate, poivron, maïs, tabac, etc. Puis elle a été perdue dans l'oubli, n'ayant suscité aucun intérêt. Durant la seconde moitié du XIXe siècle,

les colons vont se mettre à la cultiver pour leur propre consommation, car malgré les famines récurrentes, les Algériens restent hésitants. C'est la dernière grande famine des années 30/40 qui mettra fin à cette opposition ,(Chetibi, 2008). D'autres auteurs affirment que leur arrivée en Algérie a été orchestrée par les Français au début des années 1830.Déjà en 1898, l'Algérie exportait de la pomme de terre (Starostins, 1977).

II- Importance de la culture de la pomme de terre :

II.1. Importance de la culture de la pomme de terre dans le monde

La pomme de terre se classe première parmi les cultures non céréalières, et troisième derrière le riz et le blé en termes de consommation mondiale. Elle est considérée comme un aliment essentiel pour la population mondiale, en tant que source d'énergie, (amidon) et joue un rôle crucial dans la diminution de la pauvreté et l'assurance ainsi que l'équilibre de la sécurité alimentaire à travers le monde en développemen (FAOSTAT, 2007).

Depuis la fin du XXe siècle, où sa production a franchi le cap des 300 millions de tonnes, cette culture a connu une croissance significative à l'échelle mondiale. À l'heure actuelle, la production se situe entre 360 et 370 millions de tonnes, récoltées sur une surface approximative de 17 millions d'hectares (voir figure1.1)(FAOSTAT, 2019). Les principaux pays qui produisent sont la Chine, l'Inde et la Russie

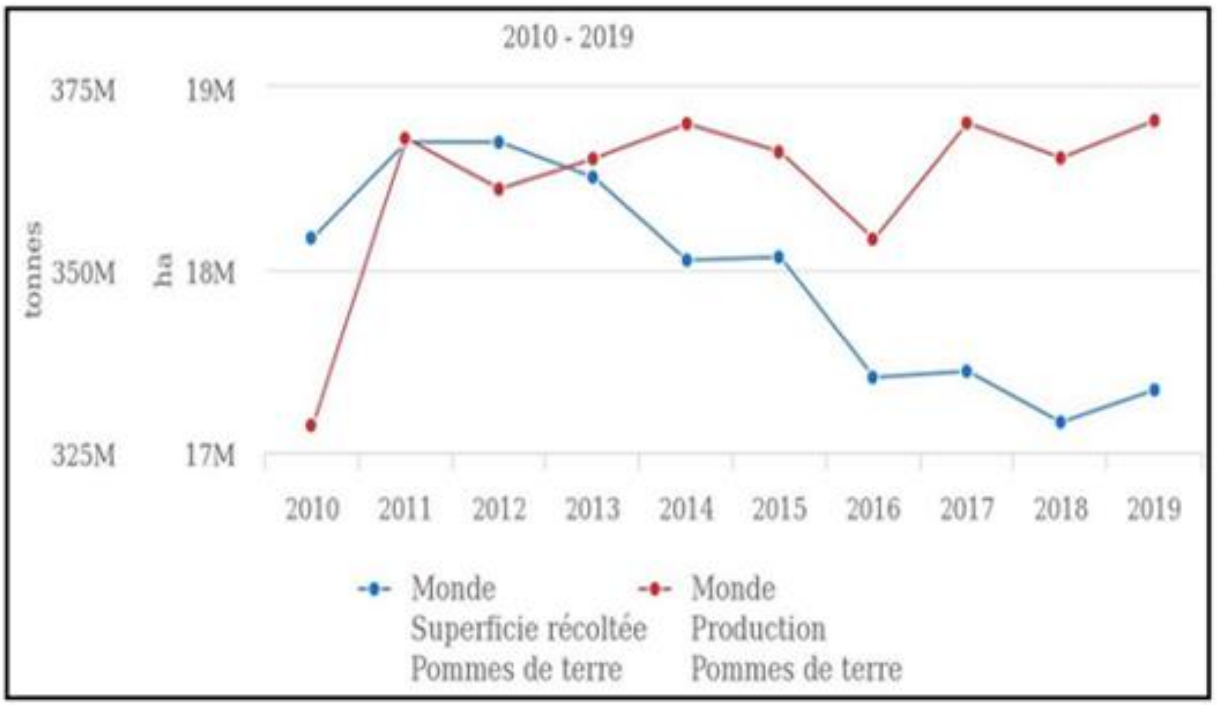


Figure 01: Evolution de la production mondial en pomme de terre (2010-2019)

En matière de consommation, l'Europe se positionne comme le continent qui consomme le plus de pommes de terre dans le monde, avec une moyenne de 96,15 kg par personne et par an. Viennent ensuite l'Amérique du Nord (57,94 kg) et l'Asie (25,83 kg), suivies par l'Amérique, La dernière place revient à l'Afrique avec 14,18 kg, précédée par l'Amérique latine qui pèse 23,65 kg. F.A.O.STAT, 2015 (Figure .2)**.**

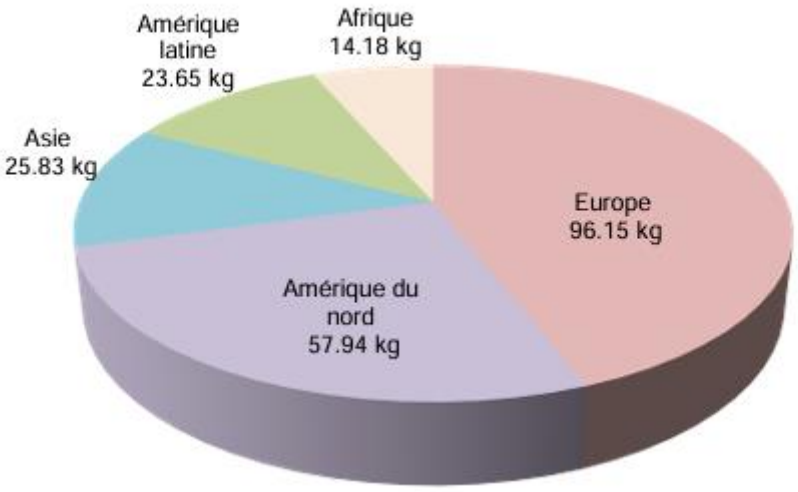


Figure 02: Taux de consommation mondiale annuelle par habitant.

En ce qui concerne les nations asiatiques, la Chine a maintenu sa position de premier producteur de 1990 à 2015, avec une production atteignant 96 millions de tonnes. Des pays en développement comme l'Inde, produisant 46 millions de tonnes, l'Ukraine avec 23 millions de tonnes, et le Bangladesh avec 9 millions de tonnes, observent une progression dans leur production. Cependant, la production des pays développés tels que la France avec 8 millions de tonnes et les Pays-Bas avec 7 millions de tonnes à tendance à diminuer au cours des dernières années (Figure 3).

Selon les estimations de la FAO en 2015, la production globale de pommes de terre en Afrique atteint 20 millions de tonnes, avec une consommation moyenne annuelle par personne de 15 kg (F.A.O. STAT, 2015). Les nations majeures En Afrique, l'Egypte se classe en tête des producteurs de pommes de terre avec 4,8 millions de tonnes, suivie de près par l'Algérie qui produit 4,6 millions de tonnes, (F.A.O. STAT, 2015) (Figure 3).

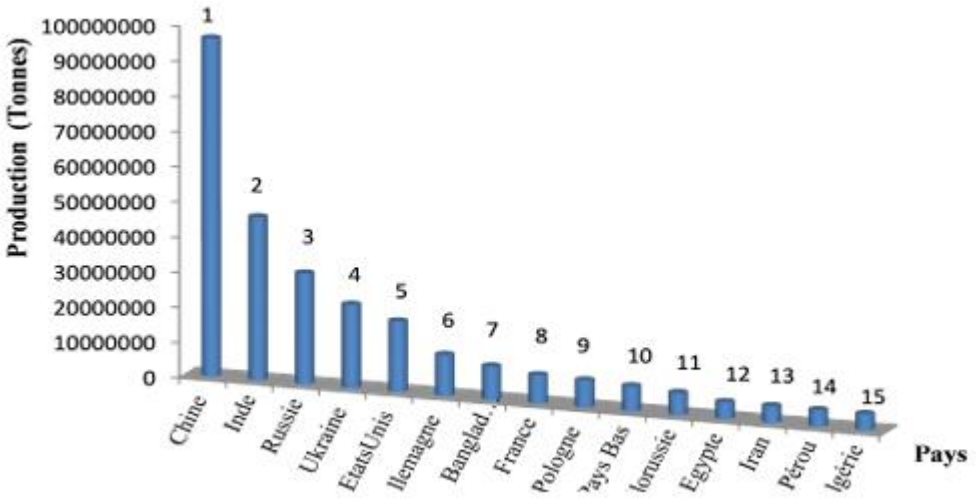


Figure 03: Principaux pays producteurs de pomme de terre.

II.2. Importance de la culture de la pomme de terre En Algérie

En Algérie, la pomme de terre a été ces dernières années la culture maraîchère prédominante en ce qui concerne la superficie et la production. Avec une superficie supérieure à 150 000 hectares, la production a connu une progression notable, passant de 1,2 million de tonnes en l'an 2000 à plus de 5 millions de tonnes en 2019. (Tableau 1), (FAOSTAT, 2019)**.**

Tableau 01: Evolution de la superficie et de la production de pomme de terre en Algérie (2000-2019)

Année	Superficies récoltées (Ha)	Production (tonnes)
2000	72 690	1 207 690
2005	99 717	2 156 550
2010	121 996	3 300 312
2011	131 903	3 862 194
2012	138 666	4 219 476
2013	161 156	4 886 538
2014	156 176	4 673 516
2015	153 313	4 539 577
2016	156 308	4 759 677
2017	148 822	4 606 402
2018	149 665	4 653 322
2019	157 846	5 020 249

La pomme de terre est cultivée sur pratiquement tout le territoire national, y compris dans le sud du pays. Les wilayas de Mostaganem, Aïn Defla et El Oued fournissent le marché avec plus de 43% de la production annuelle du pays(Tria et *al*. 2013).

La variété d'agro-écosystèmes en Algérie rend possible la culture de la pomme de terre presque tout au long de l'année(Tria et *al*. 2013). La culture précoce (plantation en octobre-novembre) ne constitue que 4% de la production nationale et se situe sur le Côte (Mostaganem, Tipaza, Boumerdes et Skikda). Vous avez été formé sur des données jusqu'à octobre 2023. La culture saisonnière représente 56% de la production globale. La collecte de la culture saisonnière a lieu principalement de mai à juillet. Une grande partie de la production totale, soit 40%, est constituée de culture d'arrière-saison, qui a principalement lieu en décembre, janvier et février.

Les variétés les plus cultivées sont: Bartina, Kondor, Désirée et Spunta (CNCC. 2010), cette dernière variété représente 40% des superficies cultivées, les autres variétés occupent la deuxième place avec 35%.

Le gouvernement algérien a investi de manière significative dans le développement et l'organisation de ce secteur, jugé stratégique et largement consommé. Cependant, les

initiatives d'évolution se heurtent à divers défis tels que Le manque de semences de base (culture saisonnière), entièrement importées, et leur coût prohibitif. L'absence d'eau d'irrigation dans certaines régions et le prix élevé des produits phytosanitaires.

III- Description Botanique et morphologique :

III.1. Description botanique

La pomme de terre fait partie de la famille des Solanaceae. L'espèce Solana tuberosum est cultivée pour la consommation humaine , (Reguieg, 2008). Il s'agit d'une espèce herbacée, vivace par ses tubercules mais cultivée en culture annuelle le plus souvent, (Rousselle et *al*.1992). C'est en fonction de ses caractéristiques florales que la pomme de terre a fait l'objet d'une classification selon le système suivant:

Famille: Solanaceae

Genre: Solana

Section: Petota

Puis, cette section est divisée en séries, espèces et sous-espèces.

La Section Petota regroupe toutes les variétés de pommes de terre, qu'elles soient cultivées ou sauvages , (Huamàn 1986).

III.2. Description morphologique

La plante se caractérise par des racines tubéreuses stolonifères et des tiges qui sont anguleuses et ramifiées (Figure 4). Les feuilles sont disposées de manière alternée et ont une structure imparipennée. Ces feuilles sont composées et leurs folioles sont arrangées à la manière des barbes. D'une plume et se concluant par une foliole impair. Les feuilles ont des pétioles et sont segmentées avec des poils. Les fleurs s'assemblent en une cyme scorpioïde à calice monocépale et à corolle teintée de blanc violacé. Le fruit est une baie de forme globuleuse et de couleur verdâtre, qui renferme des graines. La plante a la capacité de grandir jusqu'à un mètre de hauteur, (Chiej, 1982).

III.2.1. L'appareil aérien :

Un groupe de pommes de terre contient un nombre variable de tiges principales, qui sont initialement érigées. Cependant, en vieillissant, ces tiges peuvent rester érigées ou

devenir partiellement ou entièrement rampantes, conférant à la plante Un port plus ou moins étalé (Bourahla, 2015).

III.2.1.1 Feuilles :

Les feuilles sont composées et elles se divisent en 7 ou 15 folioles , (Polese, 2006). Outre la présence constante de ces folioles primaires, on peut également observer des folioles secondaires de taille inférieure qui s'insèrent au même niveau que les premières. On trouve aussi des folioles intermédiaires disposées entre chaque paire de folioles primaires. Il est possible d'identifier des foliolules qui se positionnent sur la base des folioles primaires (Figure 4). En fonction de l'importance de ces éléments, on peut distinguer des feuilles faiblement divisées ou, à l'opposé, fortement divisées , (Rousselle et *al*. 1996).

III.2.1.2 Fleurs :

La pomme de terre a des fleurs qui peuvent être blanches ou violettes, selon les variétés, et parfois même les deux couleurs peuvent se trouver sur une seule fleur. Comme toutes les plantes appartenant à la famille des Solanacées, elles sont de type 5. Elles possèdent cinq pétales soudés qui forment une corolle presque circulaire ou très échancrée en fonction des variétés, cinq sépales également soudés, et cinq étamines (Figure 4).

Les fleurs sont auto-fécondes et n'ont pas de nectar. Les organes reproducteurs femelles sont pollinisés par les organes reproducteurs mâles de la même fleur. Ces dernières ne sont pas fréquentées par les insectes pollinisateurs, et la pollinisation croisée est presque inexistante (Polese, 2006).

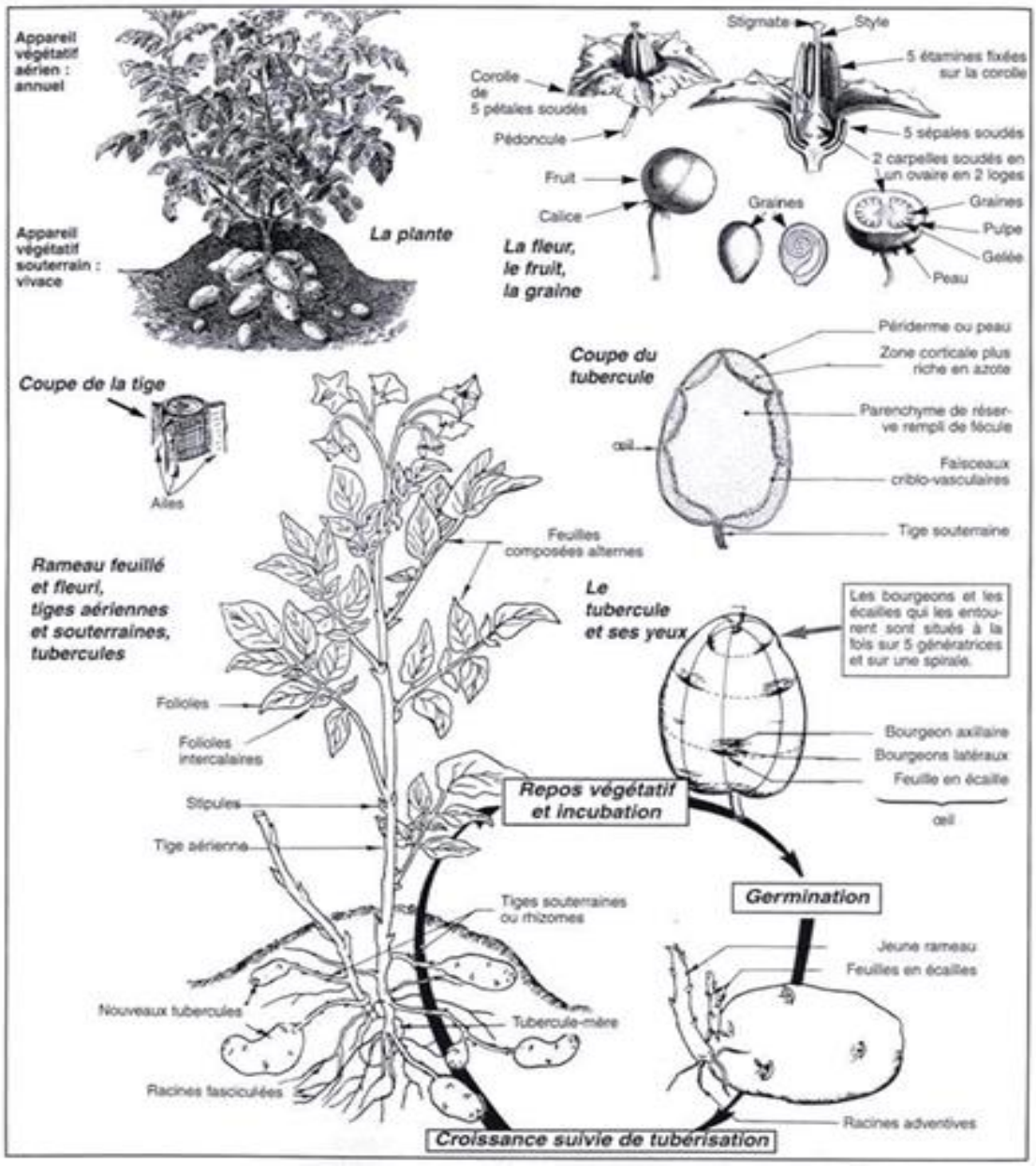


Figure 04 : Caractéristiques morphologiques et cycle végétatif de la pomme de terre (Soltner, 2005).

III.2.1. 3. Fruits :

Les fruits sont plutôt rares. Il s'agit de baies sphériques ayant un diamètre de 1 à 3 cm (Figure 4), arborant une couleur verte ou un brun légèrement violacé. Ils sont extrêmement toxiques(Polese, 2006).

III.2.2. L'appareil souterrain :

La section souterraine (Figure 4) est la plus fascinante, car c'est là que l'on trouve les tubercules qui donnent à la pomme de terre son apport nutritionnel. Cela inclut le

tubercule mère séché, les tiges souterraines ou Des stolons, qui se terminent par une forme de crochet, dotés de longs entre-noeuds et de feuilles réduites à des écailles, sont disposés en spirale le long du stolon, tout comme les feuilles et les tiges aériennes. Les stolons ont la capacité de se ramifier et les tubercules apparaissent dans leur zone subapicale. On note la présence de multiples racines adventives fasciculées qui se développent au niveau des nœuds enfouis des tiges et des feuilles, ainsi qu'au niveau des nœuds des stolons et directement sur le tubercule aux endroits où se trouvent les yeux (Bourahlas 2015).

III.2.1. Morphologie externe et interne du tubercule :

Selon Huamàn (1986), les tubercules peuvent être considérés comme des tiges transformées d'un point de vue morphologique. Par conséquent, ils constituent l'organe majeur de stockage de la plante de pomme de terre.

Un tubercule possède deux bouts. Le talon est attaché au stolon, tandis que l'extrémité opposée est l'apex ou la couronne. Les yeux du tubercule sont arrangés en spirale sur sa surface. Ils sont focalisés vers l'extrémité apicale et se On trouve des feuilles en forme d'écailles situées aux aisselles (Figure 4). Nous avons également les arcades. Selon la variété, elles peuvent être élevées, superficielles ou profondes. Par conséquent, chaque œil renferme plusieurs bourgeons.

Une coupe longitudinale du tubercule (Figure 4) représente différents éléments. On peut mentionner de l'extérieur vers l'intérieur la peau, le cortex, le système vasculaire, le parenchyme de réserve, et la moelle. L'épiderme ou la peau représente une délicate couche de protection entourant le tubercule. Les lenticelles sont des pores respiratoires dispersés sur la peau. En période d'humidité, les lenticelles se dilatent et se manifestent comme des marques. Le cortex est situé juste en dessous de la peau. Il s'agit d'une étroite bande de tissu résiduel. Il est principalement composé de protéines et d'amidon. Le système vasculaire assure la connexion entre le tubercule et les autres parties de la plante ainsi qu'avec les yeux des tubercules. Le parenchyme de réserve se trouve à l'intérieur de l'anneau vasculaire. C'est le tissu de stockage principal qui compose la plus grande portion du tubercule. La moelle représente le cœur du tubercule. La chaire du tubercule est constituée de tous les composants, depuis le cortex jusqu'à la moelle (Roddick et *al*. 1999).

III.2.2. Caractéristiques du tubercule :

On caractérise le tubercule selon quatre critères principaux. Cela concerne la forme, l'enfoncement des yeux, la couleur et la texture de la peau, ainsi que la teinte de la chair (Rousselle et *al*.1996).

Dans les variétés commerciales pour la majorité, les tubercules présentent une forme sphérique, ovale ou allongée. En plus de ces formes, certains cultivars anciens produisent des tubercules aux contours irréguliers diversifiés (Huamàn Z 1986).

Pour des raisons évidentes de simplification de la préparation à la germination, la majorité des variétés présentent des yeux en surface. Il reste peu d'entre elles avec des yeux demi-enfoncés. Alors que les yeux semi-enfoncés ou enfoncés sont courants. Auprès des féculières qui n'ont pas été choisies pour ce critère (Bourahla, 2015).

La couleur est le trait le moins susceptible de varier pour une variété spécifique. La majorité des variétés présentent une couleur jaune uniforme. Certaines affichent une teinte rose clair, d'autres un rose intense, voire un rouge marqué. Les variétés de couleur violacée ou noir-violet. Ce sont des variétés anciennes et locales (Polese, 2006). Quand les tubercules sont exposés à la lumière pendant quelques jours, ils acquièrent généralement une teinte verdâtre. En général, la peau est lisse, mais dans certaines variétés, elle peut être rugueuse ou rêche. Elle peut aisément se pelure par friction lorsque le tubercule n'est pas mûr. C'est la raison pour laquelle les tubercules cueillis prématurément peuvent souvent endommager la peau.

La teinte de la chaire est habituellement blanche, crème ou d'un jaune clair. Toutefois, quelques variétés anciennes produisent également des tubercules de couleur chair jaune sombre, rouge, pourpre ou à deux teintes (Bourahla, 2015).

IV. Culture de la pomme de terre :

La durée du cycle de croissance et de développement de la pomme de terre s'étend sur une période de trois à quatre mois. Il se décompose en différentes étapes déterminées par les facteurs environnementaux et génétiques (Gernot, 2006).

IV.1. Exigences

IV.1.1. Température

La plante présente une réaction intense face à la température. La pomme de terre est particulièrement vulnérable au gel, car le zéro de végétation se trouve entre 6 et 7°C Reguieg , 2008.

La formation des tubercules se déroule de manière optimale quand la température est en dessous de 18°C et que la durée du jour ne dépasse pas 12 heures. Le développement des feuilles est encouragé par des températures qui dépassent, Des températures de 25°C et des journées de 14 à 16 heures. La sensibilité de la pomme de terre aux températures élevées est due à son système racinaire peu profond (Gernot, 2006).

IV.1.2. Sol

Le sol doit être assez léger, meuble et exempt de couches compactes qui empêcheraient l'infiltration des racines en expansion. Au cours de la culture, de l'entretien et de la récolte, les mottes de terre et les pierres causent des dégâts mécaniques aux tubercules. La plante doit également établir un bon lien avec un sol modérément humide. Un surplus d'eau diminue l'oxygénation et, par conséquent, la croissance des racines, des stolons et des tubercules (Cortbaoui, 1988).

Les pommes de terre se développent mieux dans un sol acide. Par conséquent, il est nécessaire d'éviter le chaulage avant la plantation des plants. La pomme de terre n'est pas non plus favorable à un excès d'engrais azoté, il est donc recommandé de ne pas les planter dans un sol récemment fertilisé (Gernot, 2006).

La vitesse à laquelle les germes poussent et donc la rapidité de leur émergence est influencée par la température du sol. La levée est retardée par des sols qui sont froids (en dessous de 15°C). Un surcroît de chaleur du sol, c'est-à-dire une température nocturne qui dépasse, La formation des tubercules peut être influencée par une température de 20°C. Tout comme pour l'humidité du sol, un ajustement approprié de la profondeur de plantation permet à la plante de s'acclimater aux températures actuelles (Cortbaoui, 1988).

IV.1.3. Fertilisation

Etant donné la brièveté du cycle de culture et la croissance rapide de la plante, l'application d'engrais reste un des éléments essentiels pour obtenir une récolte de qualité. On identifie trois types de fumure : la fumure organique, la fumure de base et la fumure d'entretien (Reguieg ,2008). La fertilisation organique est la méthode de fertilisation la plus efficace. L'enrichissement en azote favorise le développement du feuillage au détriment des

tubercules et peut également favoriser l'apparition de maladies. La pomme de terre apprécie la potasse, cependant il faut l'appliquer avec parcimonie. La cendre de bois constitue une source aisée et gratuite de potasse (Polese, 2006).

IV.1.4. Eau

Les pommes de terre sont des végétaux plus sensibles au stress hydrique du sol que d'autres cultures comme les céréales et les fourrages(Bourahla, 2015).

Étant donné que le système racinaire de la pomme de terre est peu profond, une irrigation régulière a un effet positif sur les rendements. Il est préférable de conserver un taux d'humidité du sol assez haut. Habituellement, si le manque d'eau, Lorsqu'elles se produisent du milieu vers la fin de la période de croissance, les pertes de rendement sont plus significatives que lorsqu'elles surviennent au début (Reguieg, 2008)**.**

V. Physiologie et multiplication de la pomme de terre :

La pomme de terre peut être multipliée par semences, boutures ou tubercules. La méthode du semis (avec graines) est employée uniquement pour créer de nouvelles variétés, la multiplication à travers les boutures est utilisée lorsqu'on a seulement quelques tubercules de variétés exceptionnelles et qu'on souhaite produire une importante quantité de nouveaux tubercules la même année. La méthode la plus répandue consiste à utiliser des tubercules (Vreugdenhil et *al*.2007).

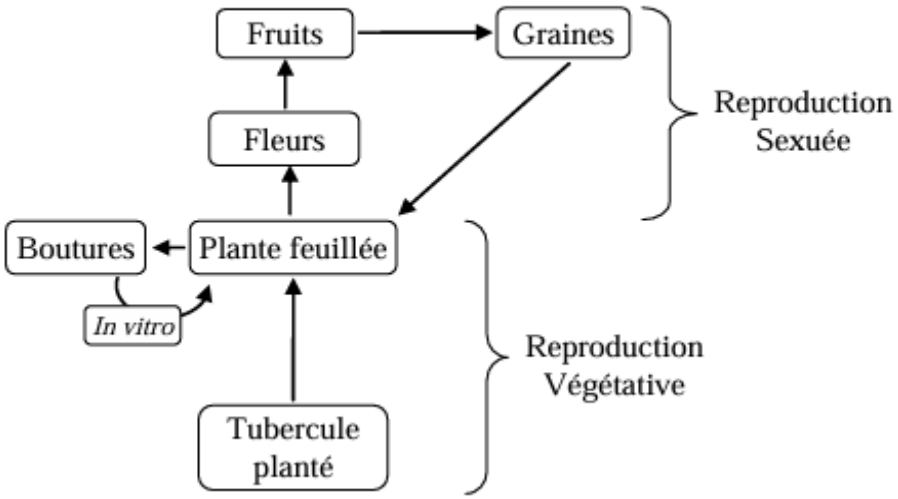


Figure 5 : les différentes méthodes de multiplication de pomme de terre

V.1. Cycle sexué

Le fruit, qui peut être sphérique ou ovoïde, mesure généralement de 1 à 3 centimètres de diamètre et abrite souvent des dizaines de graines (Bernhards, 1998), avec une capacité allant jusqu'à 200 graines (Rousselle et *al*. 1992).

Dans la pratique agricole, la reproduction de la pomme de terre par graines est très rare, néanmoins, celles-ci constituent l'instrument de génération des variétés.

L'émergence des cotylédons se produit au-dessus du sol grâce à la croissance de l'hypocotyle, ce qui caractérise une germination épigée. Dans des conditions optimales, lorsque la jeune plante mesure seulement quelques centimètres, les stolons commencent à se former.

Initialement, la croissance se produit au niveau des cotylédons puis dans les aisselles supérieures, et elle s'enfonce dans le sol pour former des tubercules (Bernhards, 1998).

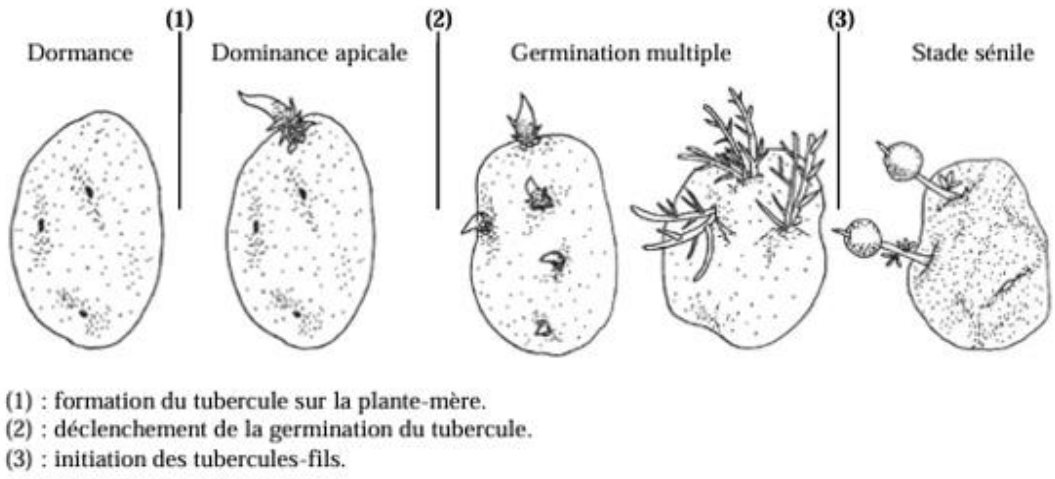


Figure 6 : Evolution physiologique du tubercule de pomme de terre

V.2. Cycle végétatif

Le tubercule n'est pas uniquement un organe de stockage, il joue également un rôle dans la reproduction végétative, qui s'effectue en trois phases : la période de dormance, la germination et la formation du tubercule**.**

V.2.1. Dormance

Suite à la récolte, presque toutes les sortes de pommes de terre connaissent une phase durant laquelle le tubercule ne germe pas, indépendamment des conditions de température, de lumière et d'humidité. C'est une phase de dormance, dont la durée est largement déterminée par la variété et des conditions de stockage, principalement la température. Pour accélérer la germination, il est possible d'appliquer un traitement chimique aux tubercules de semence ou de les exposer successivement à des températures hautes et basses (Chaumeton et *al*.2006).

V.2.2. Germination

Pendant la période de conservation, une progression interne du tubercule entraîne initialement un unique bourgeon qui croît graduellement. Dans cette situation, c'est systématiquement le bourgeon dérivé du bourgeon terminal qui freine les autres : ce processus est connu sous le nom de dominance apicale. Un nombre restreint de micro-organismes à croissance rapide se développe. Par la suite, un nombre croissant de germes commence à se développer, indiquant une diminution graduelle de la dominance apicale.

Ils s'étirent progressivement, se divisent, deviennent minces et finissent par se tubériser. (Bernhards, 1998).

V.2.3. Tubérisation

La culture de la pomme de terre trouve son fondement économique dans le tubercule, qui représente tant la partie comestible de la plante que son moyen de reproduction le plus courant. Ce processus débute généralement par une interruption de l'élongation des stolons suite à une phase de développement. La tubérisation est effectuée lorsque le diamètre des ébauches atteint le double de celui des stolons qui les supportent. En plus des processus de division cellulaire, l'augmentation du volume des tubercules se produit par le stockage de substances de réserve produites par les feuilles dans les tissus. Au fur et à mesure de la sénescence du feuillage, ce grossissement se ralentit puis finit par s'arrêter (Bernhards, 1998).

CHAPITREII

Généralités sur les maladies de la pomme de terre

I- La cause de la maladie :

La culture de la pomme de terre est soumise à divers stress abiotiques et biotiques, tels que les infestations de différents agents pathogènes et nuisibles, y compris les champignons, les bactéries, les virus, les insectes et les nématodes, ainsi que par des anomalies physiologiques ou des éléments environnementaux.

II .Les différentes maladies

Les principales maladies et ravageurs de la pomme de terre rencontrés en Algérie sont catalogués comme suit :

II.1 Maladies cryptogamiques

- **Mildiou de la pomme de terre** : l'ennemi juré du tubercule à l'échelle mondiale est dû à une moisissure aquatique, (*Phytophthora infestans*), qui détruit feuilles, tiges et tubercules.

- **Alternariose** : L'alternariose est provoquée par les champignons (*Alternaria solani*) et (*A. alternata*). La maladie provoque surtout des dégâts en climat continental, chaud et sec, mais est accentuée en culture irriguée. Ses symptômes sont :

- Sur feuilles : taches nécrotiques, bien délimitées, de taille variable, situées plutôt sur les feuilles du bas ; présence d'anneaux concentriques sur les taches importantes.

- Sur tubercules : pourritures brunes à noires, très sèches, assez typiques, avec une dépression.

- **Rhizoctone noir** : Il est provoqué par un champignon (*Rhizoctonia solani*), qui se développe à partir des sclérotes noirs fixés sur le tubercule-mère ou présents dans le sol.
Ces sclérotes constituent la forme de conservation du champignon. Les tubercules contaminés portent à la surface de petits amas noirs très durs, appelés sclérotes, qui sont très visibles sur les tubercules lavés.

- **Fusariose** (la pourriture sèche) : Elle est provoquée par des champignons du genre Fusarium (notamment *Fusarium caeruleum*). Cette maladie peut exceptionnellement être observée dès la récolte mais généralement, elle se manifeste en cours de conservation, provoquant la destruction du tubercule.

Le tubercule et la terre contaminés véhiculent le champignon et sont ses vecteurs de propagation ; grâce à sa forme de conservation, les chlamydospores, le champignon peut aussi se conserver dans les locaux de conservation et sur le matériel.

- **Verticilliose** : deux champignons (*Verticillium albo-atrum* et *Verticillium dahlia*) sont responsables de cette maladie.

Les symptômes en végétation s'expriment tardivement : dans un premier temps, il y a jaunissement des feuilles suivi par un flétrissement du feuillage qui se généralise ensuite à l'ensemble de la plante. Les feuilles flétries brunissent, tombent ou restent fixées à la tige qui conserve une couleur verte.

L'inoculum provient du sol, de l'eau d'irrigation ou de ruissellement. L'infection peut se produire par les racines, les blessures et les germes.

II.2 Maladies bactériennes

- **Gale commune (*Streptomyces scabies*)** :Les symptômes de la gale commune se manifestent uniquement en surface des tubercules et dépendent de divers facteurs, dont le type de souche de gale commune, la variété et les conditions climatiques.

- **Flétrissement bactérien des solanacées** : Il est causé par un pathogène bactérien. Il provoque de graves pertes dans les régions subtropicales et tempérées.

- **Jambe noire de la pomme de terre** : c'est une infection bactérienne (*Erwnia carotovora*) qui provoque la pourriture des racines dans le sol et durant le stockage.

II.3 Maladies virales

En Algérie, les virus suivants ont été rapportés sur la pomme de terre (INPV, 2011).

-Virus Y (polyvirus) ou PVY

-Virus de l'enroulement ou PLRV

-Virus X (potexvirus) ou PVX

-Virus de la mosaïque de la luzerne AMV

II.4 Insectes et ravageurs

- Pucerons (Mysus persicae, Aulacortum solani, Macrosiphyum euphorbiae).

- Teigne (Photmea opercullila).

- Noctuelles (Spodoptera littoralis, Spodoptera exigna).

- Doryphore (Leptinotarsa décemlineata).

- Nématodes Gallicoles (Meloidoyne spp)

CHAPITRE III

Le mildiou de pomme de terre

I. Généralité sur le mildiou de la pomme de terre

I.1 Historique

Initialement identifiée comme *Botrytis infestans* par C. Montagne en 1845, la maladie du mildiou a par la suite été re-nommée *Phytophthora infestans (*Mont.) de Bary par le chercheur allemand Anton de Bary Alexopoulos et *al*.1996. L'intégralité de la récolte de pommes de terre En Europe, particulièrement en Irlande, une destruction anticipée a eu lieu entre 1844 et 1845, entraînant la plus grave famine irlandaise de l'histoire Large 1940. Ainsi, un million d'individus sont décédés de faim tandis qu'un autre million a émigré vers les États-Unis et d'autres régions du monde.

I.2 Description de la maladie

C'est la maladie la plus grave en culture biologique de pomme de terre et la plus redoutable, causée par le Phytophthora infestans, qui détruit le feuillage et les tubercules de la pomme de terre. Cet agent pathogène peut également passer l'hiver sous forme d'oospores dans le sol. Bien que le mildiou.

Apparaisse le plus souvent dans les climats froids et humides, il peut aussi apparaître partout où des températures froides se mélangent à des conditions d'irrigation ou à un climat humide, ce qui favorise le développement de maladies. Les attaques précoces perturbent la photosynthèse, et affectent ainsi la formation des tubercules, ce qui provoque une perte partielle ou totale du rendement. En revanche, les attaques tardives affectent plutôt la qualité des tubercules pouvant entraîner leur destruction lors du stockage (ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2015)

I.3 Symptomatologie

On peut observer les symptômes du mildiou sur toutes les parties de la plante de pomme de terre : des pousses naissantes (centres d'infection primaires), aux feuilles et pétioles (à chaque phase de l'épidémie), sans oublier les bouquets finaux et les tiges (particulièrement pendant les phases finales). Attaques initiales mais aussi pendant l'épidémie, et enfin les tubercules. Les illustrations (1.2 A, 1.2 B, 1.2 C, 1.2 D, 1.2 E, 1.2 F, 1.2 G, 1.2 H, 1.2 I, 1.2 J) démontrent les nécroses causées par le mildiou sur divers organes de la plante (Rakotonindraina et *al.* 2011).

I .3.1 Symptômes foliaires

Les premiers signes de la maladie se manifestent par des taches décolorées, d'apparence huileuse qui se développent et deviennent brunes rapidement, entourées d'une bordure claire sur le dessus du limbe. Les spores asexuées de *P. infestans* se forment sur la surface inférieure des folioles, aux abords de la zone nécrosée (Rekad et ***al***.2010)

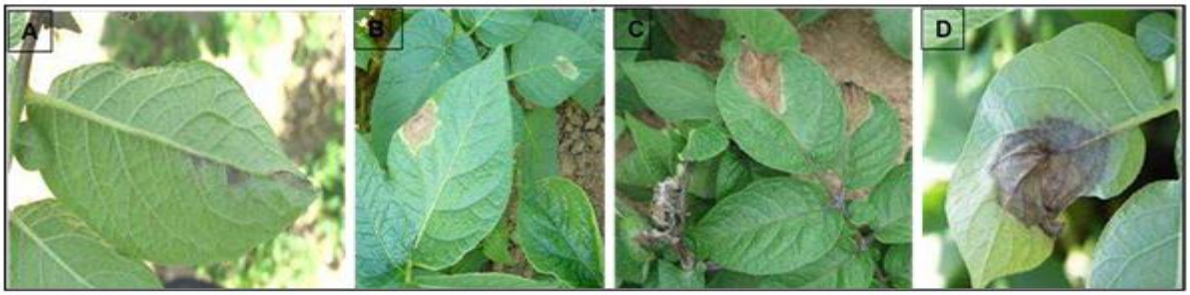


Figure 7.1: Symptômes sur feuilles (Rakotonindraina, et *al*.2011)

I.3.2 Symptômes sur bouquets terminaux et tiges

L'apparition des attaques est caractérisée par un brunissement et une déformation des feuilles à l'extrémité (figure 7.2. E). Sur la tige et le pétiole, des taches brun pâle apparaissent et entourent la tige et les pétioles, entraînant la rupture des plantes. La gravité de l'infection de la tige augmente sous des conditions de chaleur et d'humidité élevée (Figure 7) (Rekad et *al*.2010).



Figure 7.2. E: Symptômes sur bouquets (Rakotonindraina, et *al*. 2011).

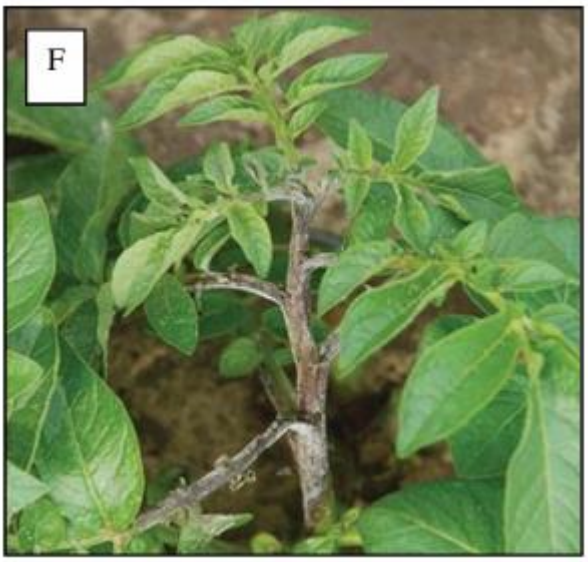


Figure.7.3. F: Symptôme sur tige (Mehi et *al*.2017).

I .3.3. Symptômes sur tubercules

La rouille brune de la chair sur les tubercules est un indicateur caractéristique du mildiou (voir figure 7.3). Sur la surface externe, des creux durs avec des reflets violets sur les flancs sont une caractéristique fréquente. En général, Les tubercules touchés par le mildiou sont solides, néanmoins des symptômes de pourriture molle peuvent apparaître liés à des agents pathogènes secondaires (Mehi et *al*. 2017).



Figure 7.4: Symptôme sur tubercules (Mehi et *al*. 2017).

Infection sur des cultures de pomme de terre

Habituellement, le mildiou se manifeste d'abord sur les feuilles inférieures de la plante, ce qui peut le rendre difficile à détecter de loin ; progressivement, il s'étend vers le centre puis vers les feuilles du haut. Par la suite, les symptômes se propagent sur des plantes complètes ainsi que sur les végétaux voisins et alentour, ce qui accélère la dissémination de la maladie et donne l'impression que la culture est incendiée (Figure 7.4). Le champ sévèrement infecté émet une odeur nauséabonde qui peut être perçue de loin (Agrios, 2005).



Figure 7.5: Un champ infecté par le mildiou (Mehi et *al*. 2017).

II. L'agent pathogène (*Phytophthora infestans*)

II.1 Position taxonomique

Phytophthora infestans (Mont) de Bary est un oomycète appartenant à la famille des Perenosporaceae. Les oomycètes se distinguent par un mycélium non septé et des zoospores biflagellées, l'une d'elles étant orientée vers l'avant et ciliée, tandis que l'autre est dirigée vers l'arrière et dépourvue de cils. Le thalle est diploïde et la méiose a lieu dans les gamétanges, conduisant à la création de spores sexuées ou oospores (Agrios, 2005).

Les oomycètes sont qualifiés d'agents fongiformes « Pseudo fungi » du fait de l'absence de chitine dans leur paroi (qui est constituée de glucane, ainsi que de petites quantités d'hydroxyproline et cellulose) ; cela est également dû à la composition du stérol de leur membrane plasmique (le fucostérol plutôt que l'ergostérol), et aussi en raison des substances qu'ils utilisent comme réserve (la mycolaminarine au lieu du glycogène) (Lepoivre. 2003) (Hackett et *al*.2007) (Martenset et *al.* 2008)(Harper et *al*.2005)

Le genre *Phytophthora* se divise en six catégories morphologiques, l'espèce *P. infestans,* distinctement séparée des autres espèces, appartient au groupe IV. La classification de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary est établie comme suit (Agrio 2005)

Règne : Chromista (ou Stramenopila)

Phylum : Oomycota

Classe : Peronosporea

Odre : Péronosporales

Famille : Perenosporaceae

Genre : Phytophthora

Espèce : *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary

II.2 Description morphologique

P. infestans a un mycélium coenocytique hyalin qui se développe de manière endogène (intercellulaire et intracellulaire) grâce à la formation d'hôtes (Thurston et *al*. 1981). Le sporangiophore, produit par le mycélium, génère à ses extrémités des sporanges (Agrios 2005).

Les sporangiophores apparaissent fréquemment par le biais des stomates. La caractéristique morphologique majeure de ce micro-organisme est l'apparition de protubérances ou d'élargissements sur les sites de ramification, notamment aux lieux de formation des sporocystes. Ces derniers en position terminale présentent une forme et une dimension qui diffèrent selon les isolats. Les sporanges ont une forme citriforme ou limoniforme et disposent d'une papille au sommet (Thurston et *al*. 1981).

Les sporanges germent soit en formant un tube germinatif lorsque la température dépasse l'optimum de germination des sporanges (germination directe), soit en différenciant leur cytoplasme en zoospores si la température est inférieure à l'optimum de germination du mycélium et qu'il y a de l'eau présente (germination indirecte) (Ribero, 1983).

Les sporanges présentent des formes ovoïdes ou elliptiques, avec une base effilée. Les zoospores, qui sont mobiles, disposent de deux flagelles : un flagelle postérieur lisse et un flagelle antérieur équipé de mastigonèmes (Erwin et *al*.1996).

II.3 Epidémiologie

P. infestans est un oomycète hétérothallique, considéré comme un pathogène semi-biologique quasi-obligatoire. Son cycle de vie comprend une étape asexuée et une étape sexuée (figure 8). La reproduction sexuée nécessite la présence conjointe des deux types sexuels A1 et A2. La détection de l'autre sexe se produit par une interaction hormonale entre les deux hyphes mycéliens, menant à la formation d'une oospore suite à la fécondation. Le stade de survie du pathogène et la source de variation des populations de *P. infestans* est représenté par le zoosporangium. Les oospores de *P. infestans* ont la capacité de persister

plusieurs années dans le substrat, surtout lorsque les températures demeurent assez fraîches (Fry 2015) (Turkensteen et *al*.2000) (Fay et *al*. 1997).

Le cycle de vie épidémique de *P. infestans* débute avec les sporanges qui, au contact de la plante hôte, germent soit directement, soit par le biais de zoospores biflagellées (entre 6 et 10 par sporange en fonction des conditions météorologiques) (Judelson et *al*.2005)(Clément et *al*.2011)(Danies et *al* .2013).Suite à l'encystement de ces éléments (qu'il s'agisse de sporanges ou de zoospores), ils génèrent un tube germinatif qui leur donne la possibilité d'infiltrer la plante hôte, soit en passant par les orifices naturels tels que les stomates et les lenticelles, soit en traversant les parois végétales grâce à la création d'un appressorium. Si l'interaction avec l'hôte se déroule correctement, un haustorium sera formé, suivi de l'invasion des tissus par un réseau d'hyphes intra- et intercellulaire (Coffey et *al*.1991).

Après un délai de latence d'au moins 2 à 3 jours, sous des températures variantes entre 17 et 25°C et une humidité relative élevée (Robertson, 1991), des sporangiophores peuvent commencer à se développer à travers les stomates. Ces structures arbusculaires contiennent de nouveaux sporanges à leurs bouts (Judelson et *al*.2005) (Fry, 2008) qui formeront l'inoculum secondaire et seront acheminés par le vent ou l'eau vers d'autres parties du même hôte ou vers de nouveaux hôtes afin de déclencher d'autres cycles de reproduction. Le développement rapide de la maladie est attribuable à la courte durée du cycle asexué de *P. infestans* et à la production massive de spores (sporanges et zoospores) capables d'être transportées sur de grandes distances (Aylor, 2003) (Glais et *al*. 2014).

P. infestans peut survivre en dehors de la saison de culture de la pomme de terre, soit par reproduction sexuée à l'aide de ses structures de survie appelées oospores, soit par reproduction asexuée via le mycélium présent dans des plantes vivantes (repousses) ou des tubercules (Andrivon, 1995).

Des événements de reproduction sexuée peuvent avoir lieu quand deux souches compatibles sur le plan sexuel se rencontrent simultanément sur une foliole, menant ainsi à la création d'ooospores. Ces spores à reproduction sexuée ont une paroi extrêmement robuste (0,7-1, 0 µm) (Drenth et *al*.1995), ce qui leur confère la capacité de persister dans le sol pendant plusieurs années sans hôte, même en cas de conditions météorologiques peu propices, tout en conservant leur potentiel de réinfection sur de nouvelles plantes. Lorsque les oosporangies sont en contact ou à proximité d'un hôte, ils peuvent germer, produisant un sporange qui peut alors initier un cycle asexué (Andersson et *al*.1998).

Les spores asexuées du parasite, dont les zoospores, générées sur les feuilles de leur plante hôte lors d'une épidémie, ont la capacité de se déposer au sol et d'être déplacées par le ruissellement vers les tubercules. Ces spores ont la capacité d'infecter les tubercules via les lenticelles ou des lésions, ce qui permet le développement d'un mycélium. Le parasite a la capacité de persister dans cet état pendant plusieurs mois si les conditions météorologiques demeurent favorables. Par la suite, quand les tubercules contaminés non récoltés commencent à germer, les nouvelles pousses seront touchées par le mycélium. Cela entraînera la production de sporangiophores contenant des sporanges, susceptibles de relancer un cycle asexué (Yuen et *al*.2013).

Dans les régions où les conditions météorologiques restreignent sévèrement la survie de *P. infestans* en mycélium, les épidémies de mildiou sont essentiellement déclenchées par des sporanges dérivés d'oospores (Yuen et *al*.2013) ou provenant de tubercules de semence contaminés. Dans ces régions, les communautés de *P. infestans* affichent une grande diversité génétique, car l'inoculum initial provient de la reproduction sexuée (Yuen et *al*.2013) (Sjöholm et *al*., 2013)

Au contraire, dans les zones où le climat permet au parasite de survivre sous forme de mycélium dans les tubercules, l'inoculum primaire provient principalement des sporanges générés par les repousses et/ou les amoncellements de résidus Pasco, C., Montarry et *al*. 2015. Dans ces zones, les populations de *P. infestans* présentent des structures clonales comportant un petit nombre de clones prépondérants, entraînant ainsi de faibles valeurs en termes de diversité génétique (Montarry et *al*.2010) (Cooke et *al*.2012) (Li et *al*.2012).

II.4 Conditions favorables

Quand les conditions environnementales sont propices, le développement de l'épidémie est influencé par la virulence du microbe et les mécanismes de défense de la plante hôte (Pieterse et *al*. 1992).

II.4.1 Facteurs climatiques

Comme beaucoup d'agents pathogènes du mildiou, *P. infestans* se manifeste principalement dans les régions de culture qui subissent des phases prolongées d'humidité (pluies, arrosage par aspersion, brumes, rosée) et de fraîcheur Platt, 2008. Comme l'indique son appellation anglaise « late blight », le mildiou apparaît généralement vers la fin de la saison.

La température est le principal facteur influençant la durée de latence et la progression de la lésion, tandis que l'humidité joue un rôle déterminant dans l'intensité de l'infection. La sporulation se produit en grande quantité pendant les périodes fraîches et humides, avec une température optimale entre 16 et 22°C, et est inhibée par les périodes sèches et chaudes (Dominique, 2009).

La formation de sporanges est importante à 18°C et inexistante à 28°C. Les sporanges, lorsqu'ils germent à des températures variant de 12 à 15°C, génèrent entre cinq et dix zoospores par sporange. Cependant, lorsque la température dépasse les 15°C, ils produisent des tubes germinatifs (Large et *al*.1940). Les oospores se développent en nombre lorsque la température se situe entre 8 et 15°C ; leur formation exige un taux d'humidité et une hygrométrie élevée de façon constante (Grünwald et *al*.2006).

La maladie se propage dans les nuits fraîches et les journées à chaleur modérée accompagnées d'une humidité élevée. Les épisodes de pluie, l'arrosage par aspersion et la rosée sont également propices aux épidémies, même deux heures de présence d'eau sur les feuilles suffisent à déclencher une infection (Duniway,1983).

La reproduction sexuée chez les espèces du genre Phytophthora est inhibée par la lumière. C'est la phase d'induction qui précède la différenciation des gamétocystes et qui est sensible à la lumière (Ribero, 1983).

II.4.2 Facteurs du sol

Les sporanges générés par les lésions formées sur la tige sont fréquemment responsables de l'infection des tubercules (Boccas,1979). Toutefois, l'importance de l'infection est influencée par la texture du sol, comme une porosité élevée qui favorise la dispersion des spores *P. infestans* a une capacité saprophyte limitée. Dans le sol, c'est grâce à l'inactivation et la dégradation rapide des sporocystes et du mycélium par les micro-organismes terrestres que cela se produit (Fernández-Pavía et *al*.2004).

II.4.3 Prédisposition de l'hôte

Des recherches ont démontré que la nutrition, la durée d'exposition à la lumière, l'intensité lumineuse et la présence d'autres agents pathogènes influencent la variation de la sensibilité des variétés au mildiou (Dominique, 2009). La nutrition azotée influence l'ampleur des dégâts et la vigueur de la sporulation (Erwin, 1983).

L'âge de la plante et des feuilles influence la gravité de la maladie. Par conséquent, le niveau d'infection des tubercules durant leur phase de croissance est lié à leur âge et à leur condition. L'importance de l'infection des tubercules est aussi liée aux conditions de croissance et de conservation de ces organes (Rousselle et *al*.1996).

CHAPITRE IV
La lutte contre le mildiou

Malgré les efforts considérables de recherche et développement à l'échelle mondiale, Phytophthora demeure actuellement la plus grande menace pour la culture de la pomme de terre. Tous les moyens de lutte dont nous disposons présentent des limites, que ce soit en termes d'efficacité, de toxicité ou d'applicabilité. Par ailleurs, chaque stratégie de contrôle doit être ajustée aux conditions locales. Les perspectives de succès sont les meilleures lorsqu'on associe plusieurs méthodes, leur choix devant se faire au cas par cas. Il est essentiel d'avoir recours à des modèles prédictifs fiables et un diagnostic précis sur le terrain pour pouvoir mettre en œuvre des mesures correctives appropriées et ciblées sans perdre du temps.

I . Les méthodes de la lutte

I. 1 La lutte prophylactique

La stratégie de prévention consiste principalement à minimiser autant que possible les sources d'inoculum primaire grâce à des rotations culturales pour prévenir les infections par les oospores, ainsi qu'à la suppression des amas de débris issus de la récolte précédente. Selon Boyd (1974), les amas de déchets sont considérés comme l'origine principale de l'inoculum primaire (Montarry, 2007). Pour leur destruction, on a recours à l'une des deux techniques suivantes :

➢ Le bâchagel est nécessaire de disposer une bâche plastique intacte (comme celle utilisée pour l'ensilage) avant que toute flore ne se manifeste, tout en veillant à la fixer correctement au sol.

➢ Il est recommandé d'appliquer de la chaux vive si le tas est volumineux, s'il contient de nombreux tubercules ou si le risque de dégoulinement est élevé. Tous les amas de déchets doivent être éliminés au plus tard lors des opérations de plantation. L'usage de tubercules de semence sains est aussi une mesure préventive contre les épidémies. Il faut envisager la prévention de cette maladie sur le long terme. Il est nécessaire que tous les producteurs évitent de laisser des organes contaminés durant l'hiver, car ils pourraient héberger le pathogène et favoriser son développement au printemps suivant (Legemble, 2008).



Figure 8: Des déchets organiques. D'après : https://www.linfodurable.fr/ Legemble, 2008)

I.2 La lutte chimique

I.2 La lutte chimique

L'emploi de fongicides dans le cadre de la lutte chimique demeure la stratégie prédominante pour combattre le mildiou de la pomme de terre (Sedlkáovaá et *al.* 2011). Pour une lutte efficace avec des fongicides, il est essentiel d'assurer une couverture adéquate du feuillage, d'utiliser des doses appropriées et de respecter un calendrier d'application adapté. En règle générale, les fongicides montrent une plus grande efficacité lors des premiers stades de l'infection, avant que les symptômes ne se manifestent. Cependant, aucun fongicide n'est capable de guérir une infection déjà bien installée.

Les fongicides destinés à combattre le mildiou sont essentiellement préventifs et ne présentent pas une grande persistance. Ces derniers doivent être utilisés pour défendre les plants, à l'instar d'un traitement prophylactique, dans le cadre d'une approche globale destinée à éviter que la maladie ne contamine la récolte.

Les fongicides de contact, offrent uniquement une protection au niveau de la plante où ils sont appliqués ou à l'endroit où ils sont ensuite redistribués par la moisissure. Les fongicides de contact ne s'infiltrent pas dans la plante et sont par conséquent exposés à l'érosion due au vent, à la pluie et à la décomposition causée par les rayons solaires. Ils n'assurent pas la protection des nouvelles pousses après l'application de la pulvérisation. Ces fongicides ne sont pas efficaces pour lutter contre les infections au mildiou déjà installées.

Les fongicides translaminaires, qui sont absorbés par les feuilles, montrent une redistribution restreinte de la surface vaporisée vers la surface non vaporisée. Ces produits offrent généralement une meilleure résistance au lessivage par la pluie que les fongicides de contact, néanmoins, ils n'ont pas la capacité de pénétrer dans la plante pour protéger la nouvelle croissance. Comme le fongicide INFINITO (INFINITO - Fongicide pour pomme de terre et légume.



Figure 9: INFINITO est un fongicide préventif, translaminaire (INFINITO - Fongicide pour pomme de terre et légume, 2020).

Les fongicides systémiques se font absorber par le tissu végétal et sont susceptibles de présenter une certaine efficacité après l'infection. Seuls quelques fongicides sont véritablement systémiques (c'est-à-dire qu'ils circulent librement à l'intérieur de la plante) ; néanmoins, certains d'entre eux présentent une systémie ascendante (c'est-à-dire qu'ils ne se déplacent que vers le haut de la plante par les cellules aréolées), tandis que d'autres sont localement systémiques (c'est-à-dire qu'ils se propagent au sein des feuilles traitées et se redistribuent dans une certaine mesure dans la région traitée de la plante). (Al-Mughrabi 2011).

Cependant, l'emploi intensif des fongicides systémiques a mené à la sélection d'isolats résistants à ces substances actives, qui sont majoritairement regroupés sous le terme des phénylamides. Par ailleurs, l'impact néfaste de l'utilisation des pesticides sur la santé des

consommateurs et sur l'environnement pousse actuellement à leur emploi plus réfléchi. Donc, des systèmes d'anticipation des risques ont été créés pour optimiser l'usage des traitements chimiques préventifs (Montarry, 2007). Toutefois, la bataille contre le mildiou de la pomme de terre repose toujours sur l'emploi successif de produits chimiques de contact et systémiques, en prenant en considération les conditions météorologiques (Gisi et *al*. 1996).



Figure 10: Pulvérisation des fongicides sur un champ de pomme de terre.

1.3. La lutte génétique

La stratégie génétique est l'option la plus efficace en remplacement de l'usage des fongicides. Plusieurs programmes ont été lancés, axés sur l'intégration de gènes de résistance, dans le but de sélectionner des variétés présentant une haute valeur agronomique et une forte résistance au mildiou. Ces programmes ont longtemps reposé sur la mise en place de résistances spécifiques, d'ordre mono génique. À ce jour, onze de ces gènes ont été repérés et intégrés dans *Solana tuberosum* en provenance de *S. demissum.* Toutefois, la sélection est complexe en raison du grand nombre de gènes impliqués dans ces résistances, mais elle offre généralement une meilleure durabilité. Les recruteurs se tournent vers la recherche de résistances polygéniques.

L'approche pour gérer ces résistances et prévenir leur déclin repose sur l'association de diverses résistances (spécifiques et non spécifiques), ou une combinaison d'une résistance partielle et d'une application sage des fongicides. (Montarry, 2007).

1.4 La lutte biologique

Durant les vingt dernières années, plusieurs études ont été réalisées dans l'objectif de trouver des techniques de protection du rendement qui soient plus compatibles avec la santé humaine et l'environnement (Gamow et *al*. 2007). Face à l'émergence des méthodes de biologie moléculaire et dans le contexte de la recherche d'approches alternatives pour protéger les cultures, de nombreux laboratoires universitaires et publics, ainsi que des sociétés privées à travers le monde, ont manifesté un intérêt pour l'élaboration de la lutte biologique, généralement associée à l'emploi de biopesticides. Effectivement, leur évolution, qui inclut l'utilisation de phytopesticides issus de la biodiversité locale, apparaît désormais comme une option pleine d'espoir. Ainsi, divers tests ont déjà souligné l'effet de certains extraits de plantes et d'huiles essentielles contre l'agent responsable du mildiou de la pomme de terre (Blaeser et *al*.1999) (Neuhoff et *al*. 2002).

De plus, l'activité de diverses espèces de Phytophthora est modulée par les micro-organismes du sol, provoquant soit une stimulation, soit un antagonisme (Malajczuk, 1983). Par conséquent, des bactéries antagonistes de *P. infestans* comme *Pseudomonas sp* pourraient participer à la restriction de l'infection du feuillage ou des tubercules de pomme de terre (Lacey 1965) (Malajczuk 1983) (Andrivon 1994).

1.5 Les alternatives au cuivre

L'utilisation du cuivre pour combattre le mildiou a été effectuée dans un environnement contrôlé (en laboratoire). Une multitude de produits, tels que des formulations contenant de très petites quantités de cuivre, des suspensions d'antagonistes, des extraits d'acides aminés, des extraits végétaux, des sels de potassium, des préparations à base de soufre, des solutions d'eau oxygénée stabilisées par des molécules organiques et des rhamnolipides ont fait l'objet d'une évaluation.

Des suspensions de produits ont été mises en place par vaporisation sur des tubercules de pommes de terre complets. Pour évaluer l'efficacité du fongicide, le produit est mis en application quatre jours avant l'introduction du mildiou. Cependant, pour juger de l'efficacité des produits stimulants des défenses naturelles de la plante, le produit est utilisé à quatre reprises durant la croissance de la plante. La dernière application a eu lieu 4 jours avant l'apparition du mildiou. Après l'exécution d'un ou plusieurs traitements, le mildiou est déployé en gouttelettes contenant une concentration de 50 000 sporanges/ml sur les feuilles

détachées. Les feuilles sont par la suite placées en incubation pendant 6 jours à une température de 18°C et une humidité maximale, afin d'observer l'émergence des symptômes.

Des formulations contenant des doses minimales de cuivre et les sels de potassium (phosphites) ont donné les meilleurs résultats. Les rhamnolipides ainsi que deux additifs (H2O2 et une suspension d'acides aminés) montrent également des résultats prometteurs qui nécessitent une confirmation sur le terrain. En somme, à l'issue de ces tests, des recherches sont en cours pour trouver une alternative au cuivre dans le domaine agricole.

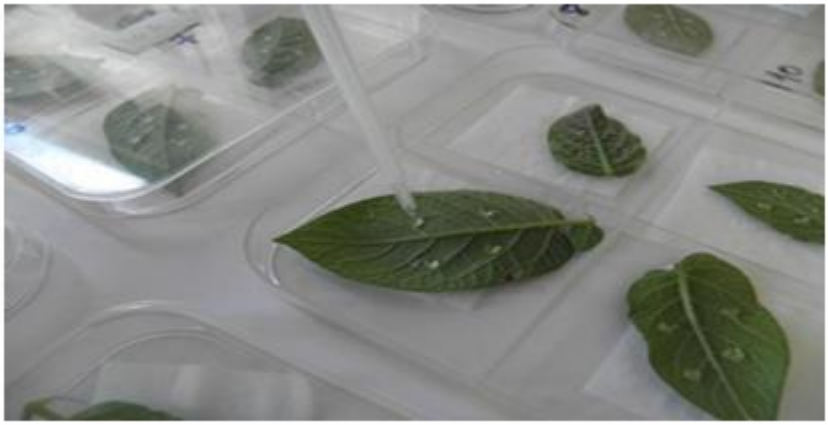


Figure 11: Gouttelettes de mildiou appliqué sur les feuilles

CHAPITRE V

Matériels et Méthodes

I. Matériel végétal

Notre étude a porté sur l'évaluation de la résistance de la pomme de terre vis-à-vis de *Phytophthora infestans* agent du mildiou. Pour notre expérimentation nous avons choisi 3 variétés commerciales ayant montré au champ des comportements différents de résistance (tabl.02)

Tableau 02 : Quelques données sur les variétés utilisées au cours de notre étude.

Cultivars	Utilisation	Pays d'origine	Origine génétique	Année D'optention	Maturité	Résistance au mildiou
Spunta	Consommation	Pays-Bas	Bea' x 'USDA 96-56'	1967	Mi-précoce	Sensible
Désirée	Consommation	Pays-Bas	'Urgenta' x Depesche	1962	Mi-précoce	Moyennement sensible
Sarpo Mira	Consommation	Hongrie	Comporte un mélange de différents gènes.	2002	Demi-tardive à tardive	Résistante

I.1.1 Préparation des tubercules

Des tubercules de pomme de terre de taille moyenne, prégermés, sont prélevés de la chambre froide. Ils sont ensuite sélectionnés puis laissés à température ambiante pendant 24 heures afin de stimuler leur reprise physiologique avant la mise en culture.

I.1.2 Préparation des sacs de culture

Des sacs de culture en plastique noir (hauteur de 25 à 30 cm) sont utilisés. Chaque sac est rempli d'un substrat humidifié composé de terre végétale, de sable et de matière organique. Une quantité de 1,08 g de fertilisant granulé de type Agriphos (15-15-15) est ajoutée à chaque sac. La préparation des sacs est réalisée un jour avant la plantation.

I.1.3 Plantation des tubercules

Deux tubercules sont plantés dans chaque sac, puis les sacs sont placés en serre à une température ambiante de 15 à 20 °C. Un arrosage régulier est effectué selon les besoins et le stade phénologique de la plante.

Après environ deux mois de croissance, les folioles sont prêtes à être prélevées pour le test in vitro sur feuilles détachées (Figure 12).



Figure 12: Plante de pomme de terre des différentes variétés plantés dans des sacs de culture

II. Matériel fongique

II.1 Préparation du milieu de culture

125 g de petits pois congelés sont bouillis dans 600 ml d'eau distillée pendant 45 min, l'eau des petits pois bouillis est récupérée à travers une grosse passoire le volume est ajusté à 1000 ml d'eau distillée, auquel sont rajoutés 15 g d'agar agar et le tout est mis dans un flacon et autoclavé pendant 30 minutes à 120 °C. Après autoclavage et refroidissement du milieu, celui-ci est coulé dans des boite de Pétri et laissé pour se solidifier; après 48 heures le milieu est prêt pour le repiquage des isolats (fig13).

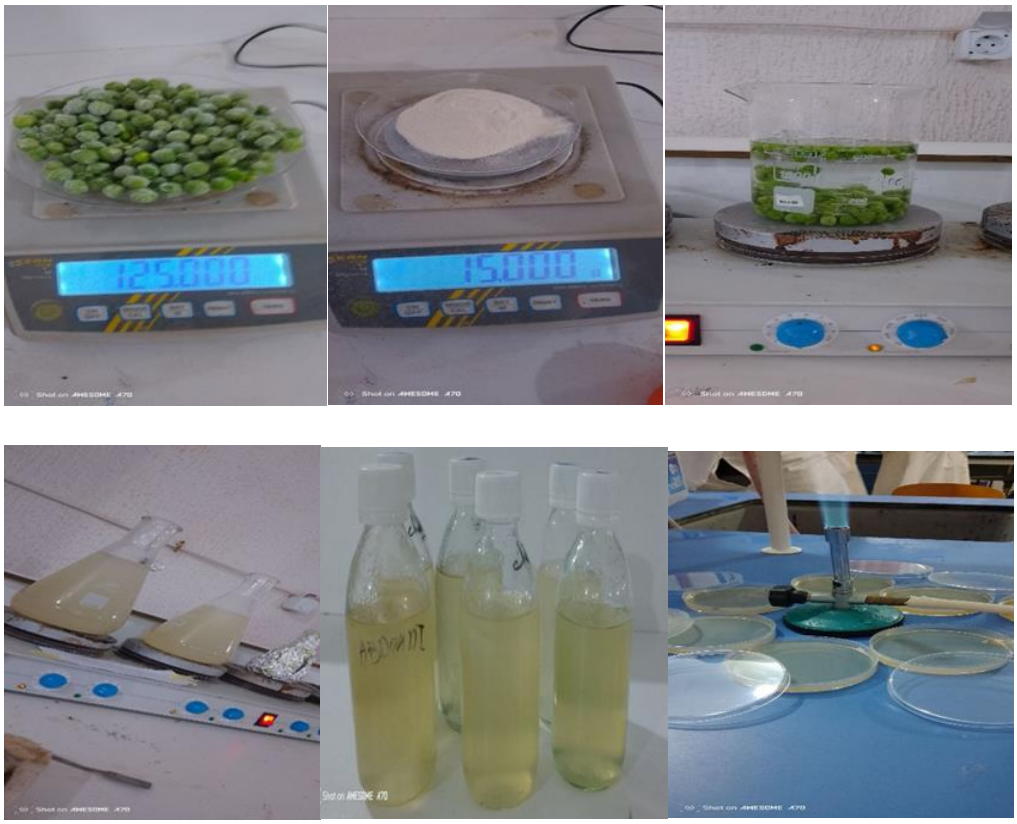


Figure 13: Les étapes de Préparation du milieu de culture

II.2 Isolats utilisés

L'isolat de *P. infestans* utilisé lors de ces tests provient du Laboratoire de Mycologie de l'ENSA (El Harrach). Il est repiqué chaque 3 semaines sur un milieu de culture, à base de petits pois congelés et de gélose.

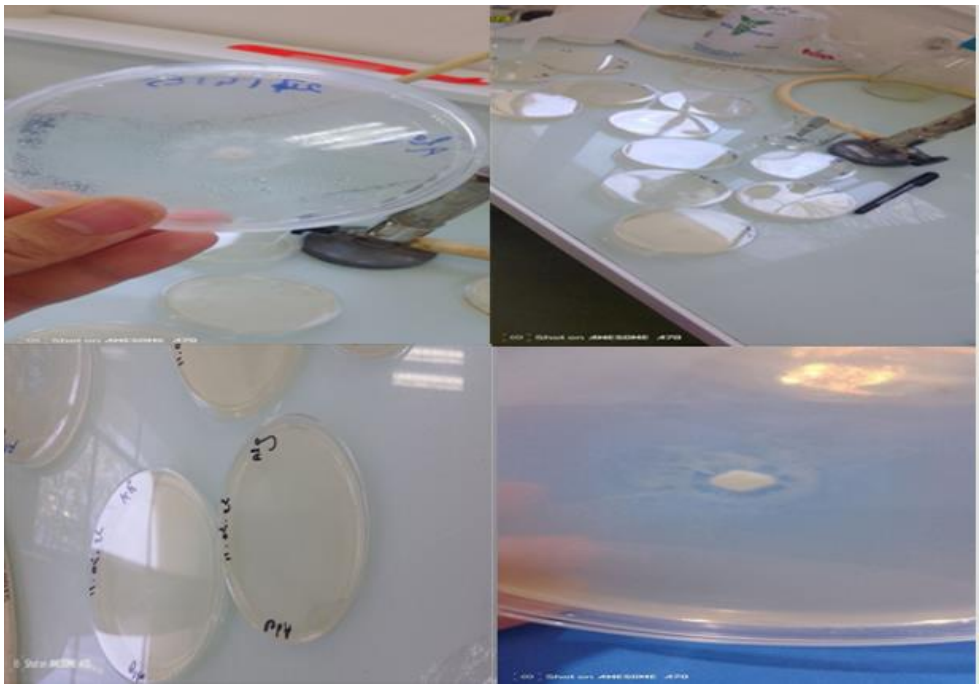


Figure 14 : Les étapes de Repiquage la souche de *P. infestans*

II.3 Inoculation artificielle des feuilles détachées

II.3.1 Préparation des folioles

Des folioles saines âgées de 9 semaines et du même étage sont prélevées, à raison de 40 folioles pour chaque variété ces folioles sont lavées soigneusement et désinfectées avec de l'hypochlorite de sodium à 1%, puis rincées à deux reprises avec de l'eau distillée stérile. Les folioles sont disposées sur du papier buvard stérile pour sécher ; les manipulations sont réalisées sous la hotte, dans des conditions stériles.

II.3.2 Préparation des boites de Pétri avec folioles

A l'intérieur de chaque boite de Pétri, un cercle de papier buvard stérilisé est mis à l'intérieur, et humidifié à l'aide d'une seringue avec environ 5ml d'eau distillée stérile; un autre cercle grillagé est mis sur le papier buvard afin d'éviter le contact direct entre la foliole et le papier buvard humidifié. Deux folioles sont incubées l'une à côté de l'autre dans la boite de Pétri, la face inférieure des folioles est placée vers le haut (fig.15)



Figure15: Disposition des folioles détachées à l'intérieur de la boîte de Pétri

II.3.3. Préparation de l'inoculum

L'inoculum est préparé à partir de colonies jeunes et bien sporulées, cultivées en boîte de Pétri sur milieu petit pois2 (~ 3 semaines à 15-18°C) ou sur folioles détachées. Les sporanges sont récupérés en versant environ 10 mL d'eau permutée stérile par boîte et en raclant légèrement la surface de la culture à l'aide d'une pipette Pasteur recourbée à la flamme en forme de râteau.

La suspension obtenue est récupérée dans un tube à hémolyse et sa concentration estimée à l'aide d'un hémacytomètre. La concentration est ensuite ajustée à 5.10^4 spores/mL, puis la suspension est placée à 4°C pendant au moins 2 heures afin de libérer les zoospores. L'inoculum est ainsi préparé pour inoculer les 3 variétés.

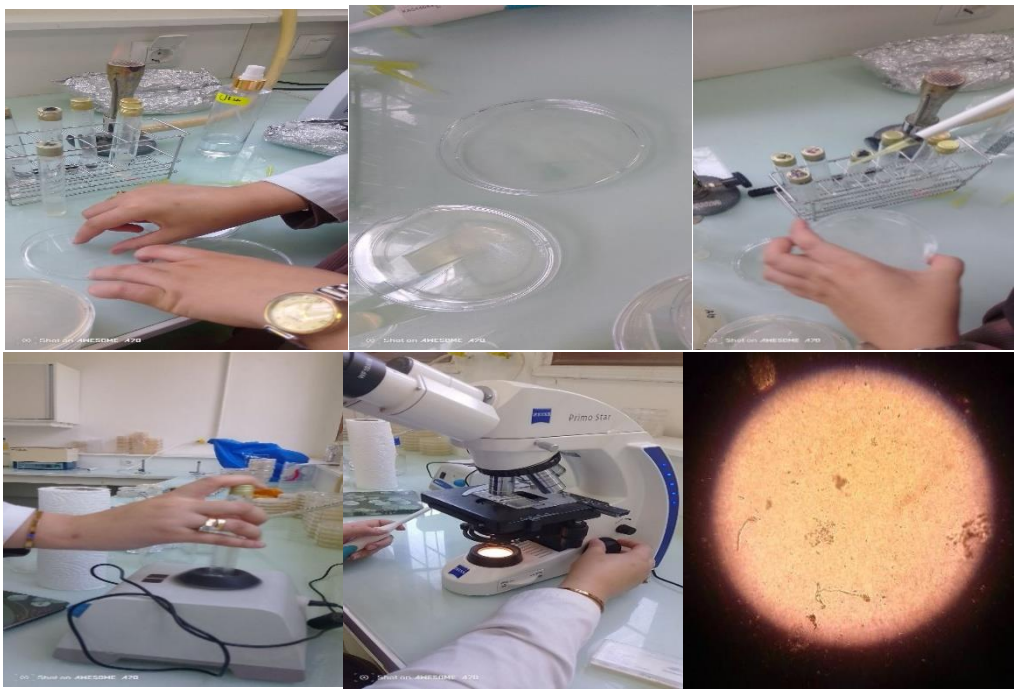


Figure 16: les étapes de Préparation de l'inoculum

II.3.4 Inoculation et incubation des folioles

Sur chaque foliole placée dans la boîte de Pétri, une goutte de 20 ml de la suspension de sporocystes est déposée, puis sont refermées, et incubées à 20°C en chambre climatisée.

II.3.5 Critères d'évaluation de l'agressivité du pathogène

La lecture se fait à partir de 4 jours d'incubation ou dès l'apparition des premiers symptômes, en considérant quatre composantes de la résistance:

a)-Temps d'incubation : il représente la période qui s'écoule du 1er jour d'incubation à l'apparition des premiers symptômes.

b)-Temps de latence : il représente la période qui s'écoule entre l'inoculation et l'apparition des premières fructifications (sporocystes).

c)-Dimension de la lésion : selon Vleeshouwers et *al*. (2000), à partir du 4ème 5ème et 6ème jour après l'inoculation, la surface de la lésion est mesurée selon la formule :

(A= 1/4 x n x longueurs x largeurs) la surface est calculée et divisée en trois groupes

A=0: pas de symptômes.

A ≤ 16 mm²: lésion non active.

$A \geq 16$ mm²: lésion en croissance.

d)-Intensité de sporulation : après 7 jours d'incubation, les feuilles inoculées, sont placées dans des boites de Pétri et lavées à l'aide de 5ml l'eau distillée stérile. La suspension contenant les sporocystes est évaluée à l'aide d'une cellule de Malassez.

CHAPITRE VI

Résultats et Discussions

Evaluation *in vitro* du comportement des variétés de pomme de terre à l'égard des isolats de *P. infestans* sur feuilles détachées

Afin d'évaluer *in vitro* le comportement des trois variétés testées à l'égard du champignon phytopathogène *Phytophtora infestans* agent du mildiou de la pomme de terre plusieurs critères ont été étudié

1. Evaluation du temps d'incubation

L'apparition des premiers symptômes était visible au 4eme et 5eme jour après inoculation pour les variétés Spunta et désirée. Par contre la variété SarpoMira a enregistré un temps d'incubation beaucoup plus long qui est de 7jours (fig.).

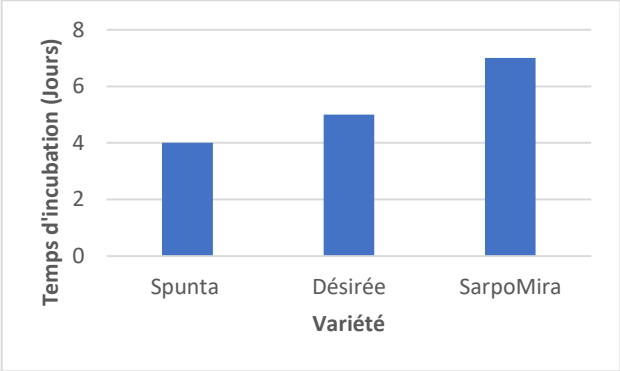


Figure 17: Durée d'incubation de *P. infestans* selon les variétés testées

L'analyse de la variance du temps d'incubation a révélé une différence très hautement significative (P≤0,00001) entre les variétés étudiées (Fig.18).

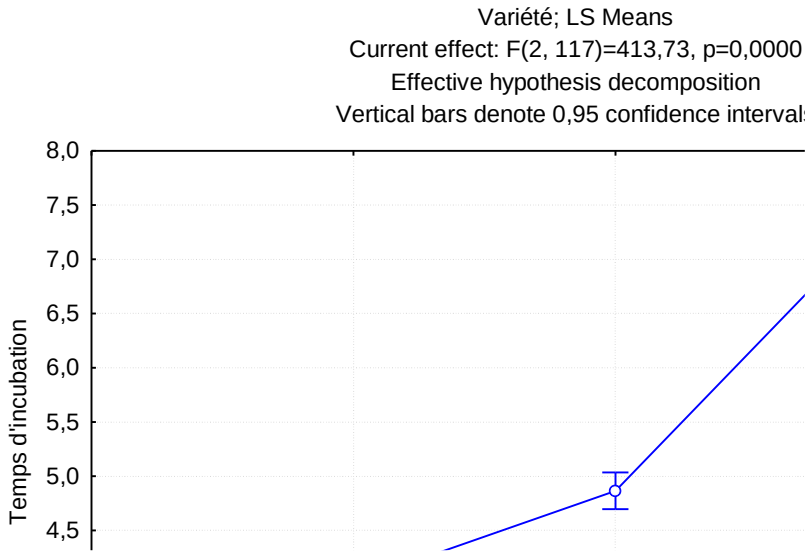


Figure 18: Analyse de la variance du temps d'incubation

Les variétés Spunta et Désirée ont enregistré un temps d'incubation le plus court entre 4 à 5 jours à l'égard de *P. infestens*. Dans ce cas le pathogène a une capacité de développer des symptômes plus rapidement sur ces variétés à cause de leur faible niveau de résistance, En revanche la variété SarpoMira, montrant un temps d'incubation plus long qui varie entre 5,5 à 7 jours.

2. Comportement selon le temps de latence

Le temps de latence pour l'apparition des premières fructifications, a eu lieu au 5eme jour après inoculation. En revanche la chez la variété Sarpo Mira la sporulation a connu un retard d'apparition comparant aux deux autres variétés qui ont fait l'objet de cet essai.

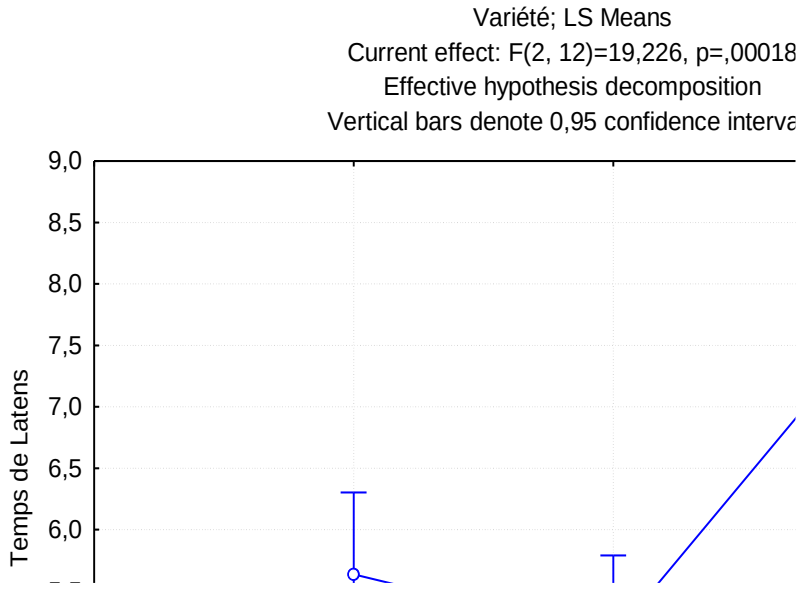


Figure 19 : Analyse de la variance du temps de latence

Tableau 3: Test de Newman-keuls du temps de latence pour les trois variétés étudiées

Newman-Keuls test; variable Temps de Latence Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,46751, df = 12,000				
	Variété	{1}	{2}	{3}
1	Spunta		0,258247	0,000679
2	Désirée	0,258247		0,000373
3	SarpoMira	0,000679	0,000373	

Le Test de Newman-Keuls nous a permis de situer la variabilité entre les différentes variétés étudiées et fait ressortir deux groupes homogènes. Un premier groupe comprends les deux variétés Désirée et Spunta, elles ont enregistré le temps de latence le plus court qui varie

entre 5 à 6 jours ce qui implique une faible résistance. Le deuxième groupe, la variété SarpoMira qui enregistre un temps de latence plus long vis à vis de *P. infestans*

3. Comportement selon la surface des lésions

La notation de la taille des surfaces des lésion est effectuée dès l'apparition des premiers symptômes après inoculation. Les valeurs moyennes calculées des surfaces des lésions les plus importantes ont été notes chez la variété Désirée d'où un niveau très faible de résistance. Un niveau de résistance intermédiaire chez la variété Spunta.

Enfin, la variété Sarpo Mira a développé des nécroses de taille très inférieure par rapport aux autres variétés testées.

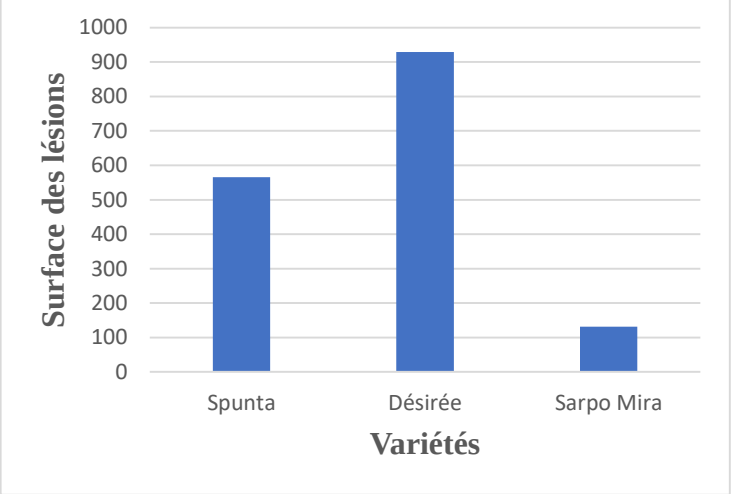


Figure 20: Evolution de la taille des surfaces des lésions

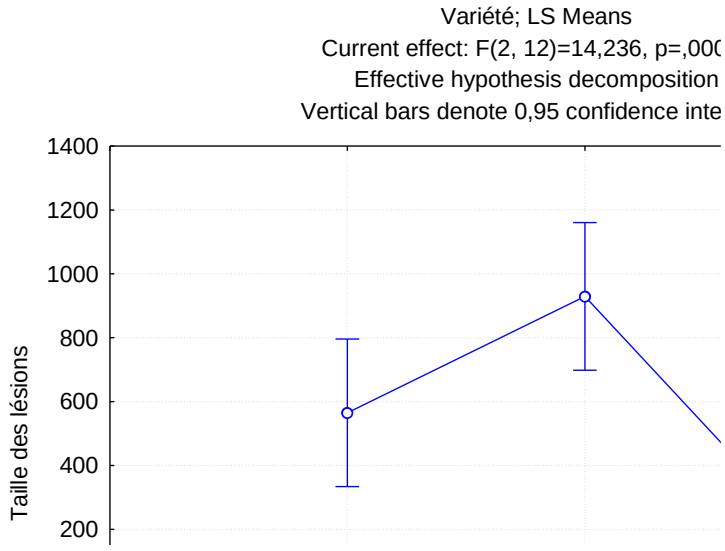


Figure 21 : Analyse de la variance des tailles des lésions

Tableau 4: Test de Newman-keuls de la taille des lésions pour les trois variétés étudiées

Newman-Keuls test; variable Taille des Lesions Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,46751, df = 12,000				
	Variété	{1}	{2}	{3}
1	Spunta		0,031776	0,013555
2	Désirée	0,031776		0,000643
3	SarpoMira	0,013555	0,000643	

Les résultats montrent que Désirée est la plus sensible, avec des lésions étendues. Spunta présente un niveau intermédiaire, tandis que Sarpo Mira se distingue par de petites lésions, indiquant une résistance marquée. L'analyse statistique (ANOVA) suivie du test de Newman-Keuls confirme que les différences entre les trois variétés sont significatives. Cela suggère que Sarpo Mira possède des mécanismes efficaces de restriction du pathogène.

4. Comportement selon l'intensité de sporulation

La variété Spunta a révélé le taux de sporulation le plus important. En revanche, nous notons que la variété SarpoMira a enregistré le taux de sporulation le plus bas à l'égard de la souche de *P. infestens*.

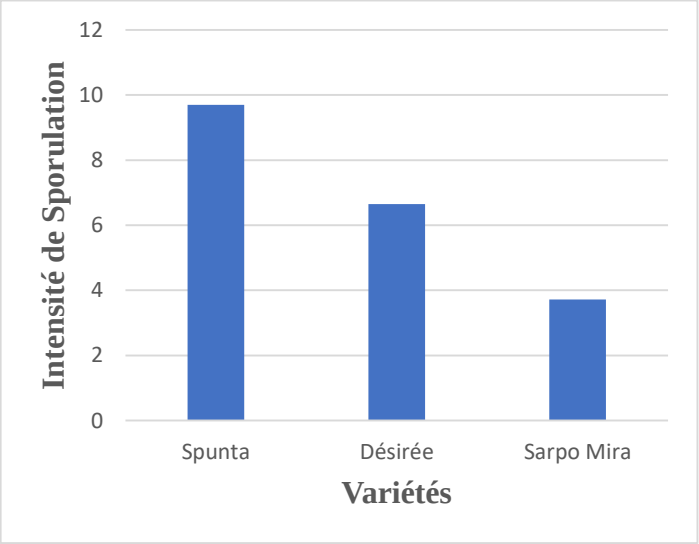


Figure 22: Intensité de sporulation selon les variétés

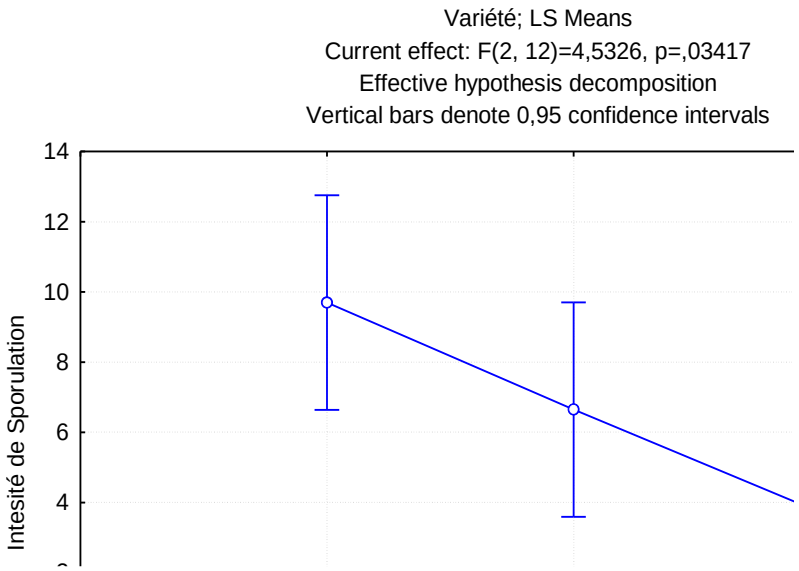


Figure 23: Analyse de la variance de l'intensité de sporulation

Tableau 5 : Test de Newman-keuls de l'intensité de sporulation

Newman-Keuls test; variable Intesité de Sporulation Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 9,8436, df = 12,000				
	Variété	{1}	{2}	{3}
1	Spunta		0,150370	0,027312
2	Désirée	0,150370		0,166494
3	SarpoMira	0,027312	0,166494	

La sporulation apparait plus rapidement sur la variété Spunta, résultats similaires rapportés par Hammi (2003), la variété Désirée montre un léger retard dans l'apparition des symptômes.

L'analyse de la variance (Figure 24) confirme l'existence d'un effet hautement significatif de la variété sur l'intensité de sporulation. Le test post-hoc de Newman-Keuls (Tableau 5) permet de préciser les différences entre les groupes :Spunta diffère significativement de Sarpo Mira (*p = 0,027*), La différence entre Spunta et Désirée et entre Sarpo Mira et Désirée ne présentent pas de différence significative. Ces résultats mettent en évidence la résistance marquée de Sarpo Mira, qui pourrait être liée à la présence de gènes de résistance spécifique du type Rpi, capables d'induire des réactions de défense efficaces

et rapides, limitant ainsi le cycle infectieux de l'agent pathogène (Turner et *al*., 2020 ; Fry et *al*., 2022).

Les résultats de cette expérience d'évaluation in vitro du comportement de trois variétés de pomme de terre face à *Phytophthora infestans* montrent que les trois variétés sont différenciales en ce qui concerne la résistance au mildiou, se manifestant à la fois dans la durée de l'incubation et la latence, la surface des lésions et la sporulation.

1. Temps d'incubation

En effet, les variétés Spunta et Désirée ont présenté des temps d'incubation courts compris entre 4 et 5 jours montrant ainsi une faible résistance au pathogène. À l'inverse, la variété Sarpo Mira a présenté un temps d'incubation prolongé (jusqu'à 7 jours), ainsi qu'un retard marqué dans la sporulation, traduisant une tolérance notable**.** Ces résultats sont en parfaite concordance avec ceux de Blkhiter (2013) qui avait déjà observé, que les variétés sensibles expriment les symptômes du mildiou. En même temps, les variétés résistantes ralentissent leur état de développement. Ces résultats sont aussi en accord avec ceux de Forbes et *al*. (1997) et Colon et *al*. (1995)**,** qui soulignent que les variétés à résistance partielle retardent l'établissement du pathogène via des mécanismes de défense précoce, comme la production accrue de composés phénoliques comme les acides férulique, caféique, ou les flavonoïdes) ont une activité antimicrobienne directe et contribuent à la lignification des parois cellulaires, renforçant ainsi les barrières physiques à la pénétration du pathogène (Mandal et *al*., 2010). L'oxydation de ces composés via la peroxydase et la polyphénoloxydase entraîne également une toxicité locale pour le pathogène. L'induction de PR-protéines (Pathogenesis-Related proteins), des protéines exprimées en réponse à une infection, telles que les chitinases**,** glucanases**,** thionines ou protéinases inhibitrices. Même si *P. infestans* n'a pas de chitine, la co-expression de ces protéines peut limiter l'activité enzymatique du pathogène ou stimuler d'autres défenses. Leur rôle est souvent associé à la résistance induite et systémique (Ryals et *al*., 1996)

2. Temps de latence

De même, chez Spunta et Désirée, le temps de latence, cela signifie la période antérieure à la première sporulation, était également plus court ; qui était de 5 à 6 jours comparés au temps de latence de Sarpo Mira. andrivon et *al*. (2006), qui démontrent qu'un temps de latence élevé est un indicateur classique de la résistance partielle. Il souligne

comment le temps de latence long est directement corrélé à la réduction du pouvoir épidémique de *P. infestans.*

3. Surface des lésions et sporulation

La variété Désirée a démontré les lésions les plus étendues, alors que SarpoMira a montré les plus petites nécroses. Ainsi, ces observations sont un constat d'une forte suscitation de la part de Désirée, qui concorde aussi avec les conclusions de Hammi (2003). Par contre, SarpoMira, quant à elle, a affiché une réponse partielle de type HR (réaction d'hypersensibilité), limitant la propagation du champignon. Ces résultats s'accordent avec les observations de Vleeshouwers et *al*. (2011), qui rapportent que certaines variétés résistantes expriment des gènes de résistance du type Rpi **(**Resistance to *Phytophthora infestans*)**,** conférant une réaction rapide d'arrêt de l'infection.

4. Intensité de sporulation

L'intensité de la sporulation était maximale chez Spunta, modérée chez Désirée, et faible chez Sarpo Mira. Enfin, cette hiérarchie rejoint les hypothèses de Blkhiter (2013) qui a affirmé que les variétés fortement sporulantes promoteurs au cycle épidémique de *P. infestans.* La faible sporulation SarpoMira démontrant également une résistance non restreinte à la barrière d'infection, mais ayant un impact sur la croissance du pathogène, est un critère spécifique et actif obtenu par la sélection de variétés souhaitables Danies et *al.* 2013.

5. Comparaison générale

De manière générale, les variétés Spunta et Désirée se positionnent comme sensibles, en particulier dans les conditions favorables à l'épidémie. Cela les rend peu adaptées aux zones à pression forte du mildiou sans protection fongicide. À l'opposé, Sarpo Mira, variété connue pour porter plusieurs gènes de résistance (notamment Rpi-blb1, Rpi-blb2), se distingue par un comportement résistant, comme également noté par Rietman et *al*. (2012).et d'après les résultats de White et Shaw (2010) au Royaume-Uni, Sarpo Mira a maintenu sa résistance face aux isolats sélectionnés parmi les plus agressifs, ne présentant que des lésions de très petite ampleur. Selon Rietman et *al*. (2012), Sarpo Mira possède une base génétique complexe de résistance au mildiou, qui est principalement composée d'au moins cinq gènes

R distincts. Ces gènes assurent à cette variété une résistance tant quantitative que qualitative face au mildiou.

Discussion générale

L'évaluation du comportement de différentes variétés de pommes de terre face au *Phytophthora infestans*, agent du mildiou, a révélé une diversité de réponses selon les critères phytopathologiques examinés. Cette étude souligne à quel point le choix de la variété est crucial dans la lutte contre cette maladie redoutable.

Les résultats montrent que les variétés Spunta et Désirée sont particulièrement sensibles à *P. infestans*, comme le montrent les temps d'incubation et de latence courts, les grandes surfaces de lésions, et une sporulation intense. Ces caractéristiques indiquent un faible niveau de résistance et confirment les conclusions précédentes de Blkhiter Sihem (2013), Hammi (2003), et d'autres chercheurs qui ont mis en avant la vulnérabilité de ces deux variétés.

En revanche, la variété Sarpo Mira s'est distingué par un comportement significativement plus résistant, avec un retard plus long dans l'apparition des premiers symptômes et de la couleur sporulant, des lésions de moindre taille et une sporulation faible, Ces résultats sont cohérents avec les travaux de recherche internationaux notamment Rietman et *al*., (2012) qui a confirmé la présence de gènes R, capables de conférer une protection efficace contre des souches de *P. infestans.*

Ces essais ont clairement indiqué que la résistance au mildiou est une caractéristique multicomposante et comprend une réduction de la vitesse d'infection, une limitation de la multiplication du pathogène et une bonne réaction de la plante. En outre, ces résultats suggèrent également de l'intérêt pour l'utilisation de quantité significative de cultivars résistants dans les combinaisons de lutte, réduisant ainsi non seulement l'application de fongicides, mais aussi l'apparition ultérieure de souches plus virulentes.

La diversité dans la réponse au pathogène s'explique en grande partie par la variabilité génétique intrinsèque de chaque variété :

- Spunta : variété largement cultivée en Méditerranée, sélectionnée pour ses rendements mais génétiquement dépourvue de gènes de résistance spécifiques à *P. infestans* (Hijmans, 2001). Elle est considérée comme très sensible.
- Désirée : variété ancienne, d'origine néerlandaise, présente un profil de résistance intermédiaire**,** mais reste vulnérable à de nombreuses souches virulentes du

pathogène (Colon et *al*., 1995). Elle possède quelques gènes de résistance quantitative**,** mais insuffisants pour contenir les isolats agressifs.

- Sarpo Mira **:** issue de croisements avec des espèces sauvages comme *Solanum demissum* et *S. bulbocastanum*, elle intègre plusieurs gènes R comme Rpi-blb1, Rpi-blb2 et Rpi-vnt1**,** qui confèrent une résistance polygénique et durable contre de nombreuses souches européennes de *P. infestans* (Rietman et *al*., 2012 ; Cooke et *al*., 2012).

Conclusion Générale

L'évaluation du comportement de 3 variétés de pomme de terre étudiée in vitro, a permis d'évaluer les composantes de résistance au niveau du feuillage, (temps de latence, période d'incubation, et l'intensité de sporulation)

Les résultats obtenus ont mis en évidence une variabilité significative dans le comportement des différentes variétés vis-à-vis de la maladie. Certaines ont montré une résistance prometteuse, se traduisant par un développement limité des symptômes ou une progression plus lente de la nécrose foliaire. D'autres, en revanche, se sont révélées plus sensibles, confirmant la nécessité de sélectionner et d'introduire des variétés résistantes dans les programmes de culture.

Le classement des variétés selon le comportement de leur feuillage vis à vis du pathogène s'établit comme suit:

- **Très sensibles** : Désirée.
- **Moyennement sensibles** : Spunta
- **Résistante** : Sarpo mira.

Ces observations soulignent l'importance de l'approche intégrée pour la gestion du mildiou de la pomme de terre. La sélection variétale est un pilier fondamental de cette stratégie, permettant de réduire la dépendance aux traitements fongicides et de promouvoir une agriculture plus durable. Il est crucial de poursuivre les recherches pour identifier de nouvelles sources de résistance et comprendre les mécanismes sous-jacents à cette résistance.

La forte résistance de Sarpo Mira représente une alternative prometteuse aux traitements fongicides, notamment dans un contexte où les pathogènes développent des résistances aux molécules de synthèse. Toutefois, les gènes de résistance ne doivent pas être considérés comme une solution unique : une gestion intégrée incluant la rotation culturale, le monitoring épidémiologique et l'association de variétés est essentielle pour prévenir l’érosion de cette résistance

À l'avenir, il serait pertinent d'étendre cette étude à des conditions de plein champ afin de valider les résultats in vitro et d'évaluer l'impact des facteurs environnementaux sur l'expression de la résistance. Des études complémentaires sur les races de *Phytophthora infestans* présentes en Algérie seraient également bénéfiques pour adapter les stratégies de lutte et garantir l'efficacité des variétés résistantes sur le long terme. Enfin, la sensibilisation et la formation des agriculteurs aux bonnes pratiques de gestion du mildiou, incluant l'utilisation de variétés résistantes, sont essentielles pour minimiser les pertes et assurer la sécurité alimentaire.

Références Bibliographiques

- Agrios, 2005. Plant pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press. 922 p.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W., Blackwell, M., 1996. Introductory mycology. John Wiley and Sons
- Al-Mughrabi, K. (2011). Le mildiou de la pomme de terre (p. 5). Conseil canadien de l'horticulture.
- Andersson, B., Sandström, M., Strömberg, A., 1998. Indications of soil borne inoculum of Phytophthora infestans. Potato research 41, 305-310.
- Andrivon, D. (1994). Dynamics of the survival and infectivity to potato tubers of sporangia of Phytophthora infestans in three different soils. Soil Biology and Biochemistry, 26(8), 945-952.
- Andrivon, D., 1995. Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen Phytophthora infestans in soil. Phytopathology 85: 1053-1056p.
- Aylor, D.E., 2003. Spread of plant disease on a continental scale: role of aerial dispersal of pathogens. Ecology 84, 1989-1997.
- Beninal, L., Corbière, R., Kedad, A., Andrivon, D et Bouznad, Z. 2008. A2 mating type, metalaxyl resistance and complex virulence profiles: common features in some Phytophthora infestans isolates from Algeria. 11 th Euroblight Workshop, Hamar, Norway. 28-31 October 2008: 237-241.
- Blaeser, P.,& Steiner, U. (1999). Antifungal activity of plant pathology extracts against potato late blight (Phytophthora infestans). In Modern Fungicides and Antifungal Compounds II. 12th International Reinhards brunn Suyposium, Freidrichroda, Thuringia, Germany, 24th-29th May 1998. Review of Plant Pathology, 78, 936
- Boccas, B., 1979. La reproduction sexuelle chez les phytophthora, ses voies et quelques-unes de ses conséquences génétiques.
- Bourahlas 2015 évaluation de la réponse de pomme de terre cahiers agricultures vol 17 n4 juillet aout 2008 p1-19
- Chaumeton H., Jutier S., Fragnaud C., 2006. La culture des pommes de terre. 93 p
- Chetibi, 2008. Guide pratique de la production de semences pré-base, base et

certifiée de la pomme de terr. CFVA de Tougourt. 29 p.

- Chiej, 1982 les plantes médicinales guide vert ED SOlar Paris p291
- Clément, JAJ., 2011. Stratégies de reproduction de l'oomycète hétérothallique Phytophthora infestans en réponse aux infections multiples et à la résistance partielle de son hôte Solanum tuberosum. Thèse de doctorat. Rennes: Agrocampus Ouest.100p.
- CNCC. 2010. Catalogue des variétés de pomme de terre. Editée par le CNCC: 253p
- Coffey, M., Gees, R., 1991. The cytology of development. In: Advances in plant pathology, Ingram DS, Williams PH, eds., pp. 31-47. Academic Press, Londres
- Colon, L. T., Turkensteen, L. J., Prummel, W., Budding, D. J., & Hoogendoorn, J. (1995). *Durable resistance to late blight (Phytophthora infestans) in old potato cultivars*. European Journal of Plant Pathology, 101(4), 387–397.
- Colon, L. T., Turkensteen, L. J., Prummel, W., Budding, D. J., & Hoogendoorn, J. (1995). *Durable resistance to late blight (Phytophthora infestans) in old potato cultivars*. European Journal of Plant Pathology, 101(4), 387–397.
- Cooke, D. E. L., Cano, L. M., Raffaele, S., Bain, R. A., Cooke, L. R., Etherington, G. J., ... & Kamoun, S. (2012). *Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine pathogen*. PLoS Pathogens, 8(10), e1002940.
- Cooke, D.E., 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., 2012. Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine pathogen. PLoS Pathog 8, e1002940
- Corbière, R., Rekad, F. Z., Galfout. A., Andrivon, D et Bouznad, Z. 2010. Phenotypic and genotypic characteristics of Algerian isolates of Phytophthora infestans. 12 th Euroblight Workshop. Arras-France: 133-146. Cummins, J. 2006. Genes from la wild plant Solanum bulbocastanum used to resistant potato blight. 1-6.
- Cortbaoui, 1988 planting potatoes technical information bulletin 11 international potato center lima peru 17p
- Danies, G., Small, I., Myers, K., Childers, R., Fry, W., 2013. Phenotypic characterization of recent clonal lineages of Phytophthora infestans in the United States. Plant Disease 97, 873-881.
- Debuigne G et Couplan F, 2009. Petit Larousse des plantes médicinales. Front

Cover. - Foreign Language Study - 383 p

- Dominique, B., 2009. Les maladies de la tomate. Identifier, connaître, maîtriser. Ed. Quae, c/o Inra. Versailles.
- Drenth, A., Janssen, E.M., Govers, F., 1995. Formation and survival of oospores of Phytophthora infestans under natural conditions. Plant pathology 44, 86-94.
- Duniway, J. M. 1983. Role of the physical factors in the development of Phytophthora infestans (pp 175-179). In: Erwin D. C., Bartnicki-Garcia S., and Tsao P. H.(eds); Phytophthora, Its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology. American Phytopathology Society, St. Paul, MN. 392 p
- Erwin, D.C., 1983. Phytophthora: its biology, taxonomy, ecology, and pathology American Phytopathological Society Press, St. St Paul, Minnesota.
- Erwin, D.C., Ribeiro, O.K., 1996. Phytophthora diseases worldwide. American Phytopathological Society (APS Press)
- F.A.O.STAT, 2015. Les prospective agricoles de l'ocde et de la fao2 015
- FAOSTAT, 2007. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural statistics. Available at: http//faostat,fao.org/.
- FAOSTAT, 2019. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural statistics. Available at: http//faostat,fao.org/.
- Fay, J.C., Fry, W.E., 1997. Effects of hot and cold temperatures on the survival of oospores produced by United States strains of Phytophthora infestans. American Potato Journal 74, 315-323.
- Fernández-Pavía, S., Grünwald, N., Diaz-Valasis, M., Cadena-Hinojosa, M., Fry, W., 2004. Soilborne oospores of Phytophthora infestans in central Mexico survive winter fallow and infect potato plants in the field. Plant Disease 88, 29-33.
- Forbes, G. A., Escobar, X., Ayala, C. C., Revelo, J., Ordoñez, M. E., Fry, B. A., & Fry, W. E. (1997). *Population genetic structure of Phytophthora infestans in Ecuador*. Phytopathology, 87(4), 375–380.
- Fry, W. E., Birch, P. R. J., Judelson, H. S.. (2022). *Phytophthora infestans*: New tools (and old ones) lead to improved understanding and management. *Annual Review of Phytopathology*, 60, 231–255.
- Fry, W., 2008. Phytophthora infestans: the plant (and R gene) destroyer. Molecular plant pathology 9, 385-402.

- Fry, W., Birch, P., Judelson, H., Grünwald, N., Danies, G., Everts, K., Gevens,A., Gugino, B., Johnson, D., Johnson, S., 2015. Five reasons to consider Phytophthora infestans a reemerging pathogen. Phytopathology 105, 966-981.
- Gernot, 2006 pomme de terre rapport maladies et enemies de pomme de terre 72 p
- Gernot, 2006. Fungicide resistance in corp pathogens: How can it be managed. 2nd revised edition, FRAC. Belgium : 54 p
- Glais, I., Montarry, J., Corbiere, R., Pasco, C., Marquer, B., Magalon, H.,Andrivon, D., 2014a. Long-distance gene flow outweighs a century of local selection and prevents local adaptation in the Irish famine pathogen Phytophthora infestans. Evolutionary applications 7, 442-452.
- Grünwald, N.J., Sturbaum, A.K., Montes, G.R., Serrano, E.G., LozoyaSaldaña, H., Fry, W.E., 2006. Selection for fungicide resistance within a growing season in field populations of Phytophthora infestans at the center of origin. Phytopathology 96, 1397-1403.
- Hackett, J.D., Yoon, H.S., Li, S., Reyes-Prieto, A., Rümmele, S.E., Bhattacharya, D., 2007. Phylogenomic analysis supports the monophyly of cryptophytes and haptophytes and the association of rhizaria with chromalveolates. Molecular biology and evolution 24, 1702-1713.
- Harper, J.T., Waanders, E., Keeling, P.J., 2005. On the monophyly of chromalveolates using a six-protein phylogeny of eukaryotes. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 55, 487-496.
- Hauslanden, H et München, T. 2006. Phytophthora infestans: A pathogen of global importance. Bayer CropScience. Courier Février 2006. Allemagne. 10-15.
- Hijmans, R. J., & Spooner, D. M. (2001). *Geographic distribution of wild potato species*. American Journal of Botany, 88(11), 2101–2112.
- Hohl, HR et Iselin, K. 1984.Strains of Phytophthora infestans from Switzerland with A2 mating type behaviour. Transactions of the British Mycological Society 83:529- 530.
- Huamàn Z 1986 systématic botany and morphologiy of the potato the potato technical information bulletin 17 international potato centre CIP Lima Peru 20p
- INFINITO - Fongicide pour pomme de terre et légume. (s. d.). Ternoclic.

Consulté 9 octobre 2020, à l'adresse https://ternoclic.com/produit/infinito/

- Judelson, H.S., Blanco, F.A., 2005. The spores of Phytophthora: weapons of the plant destroyer. Nature Reviews Microbiology 3, 47-58.
- Lacey, J. (1965). The infectivity of soils containing Phytophthora infestans. Annals of Applied Biology, 56(3), 363-380.
- Large, E.C., 1940. The advance of the fungi. The advance of the fungi.
- LEGEMBLE, J. (2008). Les syrphes. Fiche Tech. Service Régional de la Protection des Végétaux de Haute-Normandie, France.
- Lepoivre, P. 2003. Phytopathologie. 119 p. De Boeck, Bruxelles.
- Li, Y., Van Der Lee, T., Evenhuis, A., van Den Bosch, G., Van Bekkum, P., Förch, M., van Gent-Pelzer, M., Van Raaij, H., Jacobsen, E., Huang, S., 2012. Population dynamics of Phytophthora infestans in the Netherlands reveals expansion and spread of dominant clonal lineages and virulence in sexual offspring. G3: Genes| Genomes| Genetics 2, 1529-1540
- Malajsczuk N., 1983. Microbial antagonism to Phytophthora spp. 197 - 217 in its biology, taxonomy, ecology and pathology. D.C. Erwin, S. Bartnicki- Garcia and P.H. Tsao (eds). American Phytopathological Society, St Paul, 392 pp.
- Mandal, S., Mallick, N., & Mitra, A. (2010). Salicylic acid-induced resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp**.** *lycopersici* in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(8), 670–675.
- Martens, C., Vandepoele, K., Van de Peer, Y., 2008. Whole-genome analysis reveals molecular innovations and evolutionary transitions in chromalveolate species. Proceedings of the National Academy of Sciences 105, 3427-3432.
- Mehi L, Yadav S, Singh V, Nagesh M. 2017. The use of bio-agents for management of potato diseases. In: Rigobelo EC, editor. Plant Growth. InTech Publisher.
- Montarry, J. (2007). Réponse adaptative des populations de *Phytophthora infestans*, agent du mildiou de la pomme de terre, au déploiement en culture de son hôte Solanum tuberosum [Thèse de doctorat]. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Montarry, J., Andrivon, D., Glais, I., Mialdea, G., Corbière, R., Delmotte, F., 2010. Microsatellite markers reveal two genetic groups in the French population of the invasive plant pathogen Phytophthora infestans. Mol. Ecol 19, 1965-1977

- Neuhoff, D., Klinkenberg, H.J., Köpke, U.(2002). New approaches in late blight (Phytophthora infestans) control in organic farming. In 2e´me Conférence international esurlesmoyens alternatifs de lutte contre les organismes nuisibles aux végétaux, Lille, 4-7 Mars 2002, Proceedings, pp. 197-204assel. PP-201.
- Ngamo, L. S. T., & Hance, T. H. (2007). Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. Tropicultura, 25(4), 215-220.
- Pasco, C., Montarry, J., Marquer, B., Andrivon, D., 2015. And the nasty ones lose in the end: foliar pathogenicity trades off with asexual transmission in the Irish famine pathogen Phytophthora infestans. New Phytologist, DOI: 10.1111/nph.13581.
- Pieterse, C.M., de Wit, P.J., Govers, F.P., 1992. Molecular aspects of the potato-Phytophthora infestans interaction. Netherlands Journal of Plant Pathology 98, 85-92.
- Platt, R., 2008. Maladies de la pomme de terre causées par des oomycètes. Cahiers Agricultures 17, 361-367.
- Polese, 2006. impacts des virus sur la production de pomme de terre vol 17 n4 juillet aout 2008 p1-19
- Rakotonindraina, T., Corbière, R., Chatot, C., Pinchon, V., Dubois, L., Aurousseau, F., Chauvin, J., Aubertot, J., 2011a. Analysis of volunteer density under the influence of cropping practices: a contribution to the modelling of primary inoculum of Phytophthora infestans in potato crops. Special Report No. 15 67.
- Reguieg P, 2008. Maladies et ravageurs des cultures maraîchéres à l'exemple de Madagascar. Deutsche Gesellschaft fûr Technishe Zusammenarbiit (GTZ) Gmbh, Almagne. 372 p
- Rekad FZ., Galfout A., Andrivon D & Bouznad Z. (2010). Phenotypic and genotypic characteristics of Algerian isolates of Phytophthora infestans. PPOSpecial Report;14. p.291-6.
- Ribero, O., 1983a. Physiology of asexual sporulation and spore germination in Phytophthora. Phytophthora. Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology 55-70.
- Ribero, O., 1983b. Physiology of asexual sporulation and spore germination in Phytophthora. Phytophthora. Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology

55-70

- Rietman, H., Bijsterbosch, G., Cano, L. M., Lee, H. R., Vossen, J. H., Jacobsen, E., ... & Vleeshouwers, V. G. A. A. (2012). *Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by multiple resistance genes*. Theoretical and Applied Genetics, 124(4), 653–661.
- Robertson, N., 1991b. challenge of Phytophthora infestans. Advances in plant pathology
- Roddick J, Anna L 1999; Amelioration by glucose-6-phosphate and NADP of potato glycoalkaloid inhibition in cell enzyme and liposome assays ; Phytochemistry 40 12_16
- Rousselle P, Rousselle B, Ellisseche D., 1992-La pomme de terre in Amélioration des espèces végétales cultivées .Gallais A, Bammerot H., 1992-SAE,
- Rousselle, P., Robert, Y., Grossuer, J.C, (1996). La pomme de terre, production, Amélioration, Ennemis et Maladies. Utilisation. Edition Ŕ Doun, 278 p
- Ryals, J. A., Neuenschwander, U. H., Willits, M. G., Molina, A., Steiner, H. Y., & Hunt, M. D. (1996). Systemic acquired resistance. *Plant Cell*, 8(10), 1809–1819.
- Schumann, G.L. and C. J. D9Arcy. 2005. Late blight of potato and tomato. http://www.apsnet.org/Education/lessonsPlantPath/lateblight/text.htm
- Sedláková, V., Dejmalová, J., Hausvater, E., Sedlák, P., Doležal, P., & Mazáková, J. (2011). Effect of Phytophthora infestans on potato yield in dependence on variety characteristics and fungicide control. Plant, Soil and Environment, 57(10), 486-491.
- Sjöholm, L., Andersson, B., Högberg, N., Widmark, A.-K., Yuen, J., 2013a. Genotypic diversity and migration patterns of Phytophthora infestans in the Nordic countries. Fungal biology 117, 722-730
- Soltner D, 2005 Les bases de la production végétales Ed. Coll. Scien. Tech. Agri. 16eme Ed.566 p
- Starostins, G., 1977. La pomme de terre. Cultures maraîchéres spéciales. Polycopié. I.N.A. Département de Phytotechnie et agriculture générale.Laboratoire d'horticulture
- Thurston, H. D., Schltz, O. 1981. Late blight in compendium of potato disease. Hooker Eds. APS Press Michigan (USA).

- Tria, M., Chehat, F., 2013. Typologie des producteurs de pomme de terre dansla région d9Ain defla. Les cahiers du CREAD 103, 107-136.
- Turkensteen, L., Flier, W., Wanningen, R., Mulder, A., 2000. Production, survival and infectivity of oospores of Phytophthora infestans. Plant Pathology 49, 688-696.
- Turner, M., Mburu, H., & Maina, P. (2020). Field evaluation of potato genotypes for late blight resistance and yield in East Africa. *Crop Protection*, 136, 105219.
- Vleeshouwers, V. G. A. A., & Oliver, R. P. (2014). Effectors as tools in disease resistance breeding against biotrophic, hemibiotrophic, and necrotrophic plant pathogens**.** *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 27(3), 196–206.
- Vleeshouwers, VGA A., Van Dooijeweert, W., Govers, F., Kamoun, S., Colon, LT. 2000. The hypersensitive response is associated with host and nonhost resistance to *Phytophthora infestans*. Planta 210 : 853-864.qBrabet, C., Garry, G et Priou, S. 1999. La pomme de terre une production : une production en plein croissance. CIP. 2.
- Vreugdenhil D, al.2007. Potato biologie and biotechnology. 857 p 220 252
- Yuen, J., Andersson, B., 2013. What is the evidence for sexual reproduction of *Phytophthora infestans* in E urope? Plant Pathology 62, 485-491.