

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجليلي بونعامة خميس مليانة

UNIVERSITE DJILLALI BOUNAAMA - KHEMIS MILIANA FACULTE DES SCIENCES DE LA  
NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE



Département des Sciences Agronomiques  
Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master en sciences agronomiques

Spécialité : Production Végétale

**Thème**

**EVALUATION DE L'EFFET DE LA PLUVIOMETRIE  
SUR LA PROGRAMMATION DES TRAITEMENTS  
DE MILDIOU DE LA POMME DE TERRE**

➤ Jurys

- Promoteur : M<sup>r</sup> : Abderahmane O MAA UDBKM Yahia Mahammed F/Z
- Présidente : M<sup>me</sup> : Djebroune . A MAA UDBKM Oubelaid Amira
- Examinatrice : M<sup>me</sup> : Chebab . H MAA UDBKM

Présenté Par :

Année Universitaire 2019 /2020

# **Remerciement**

***Nous remercions tout d'abord « Allah » de nous donner le courage de finaliser ce mémoire dans des bonnes conditions.***

***Ainsi que les parents, qui nous ont encouragés et nous ont aidés à atteindre ce stade de notre travail.***

***Nous remercions vivement notre encadreur, Mr Abderrahmane Omar, d'avoir encadré ce travail avec beaucoup de compétences :***

***Merci pour votre indéfectible disponibilité, votre rigueur scientifique et la confiance que vous nous accordez au cours de l'élaboration de ce mémoire.***

***Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.***

***Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin principalement a M<sub>r</sub> Merrouche, M<sub>r</sub> yekhlef, M<sub>r</sub> Mohammed et M<sub>me</sub> Chebab M<sub>me</sub> Asma de DSA.***



## *Dédicaces*

*Je suis reconnaissant au Dieu tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aider à la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents (Miloud et Yamina) pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien au long de mes études. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*A tous mes sœurs et frères spécialement Houda.*

*A mon binôme Oubelaid Amira et mes chers amis dont je ne saurais citer car la liste est longue.*



**Zahra**





## *Dédicaces*

*Je suis reconnaissant au Dieu tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aider à la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents (Hamid et Baya), pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien au long de mes études. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*A tous mes sœurs et frères spécialement Midou.*

*A mon binôme **Yahia Mahammed F/Z** et mes chers amis dont je ne saurais citer car la liste est longue.*



**Amira**



# SOMMAIRE

## Liste Des Figures, Tableaux Et Des Abréviations

**Introduction**..... 1

## Partie I :Synthèse Bibliographique

### Chapitre I : Généralité sur la pomme de terre

**I-1.** La pomme de terre dans le monde ..... 4

**I-2.** Culture de la pomme de terre en Algérie..... 5

### Chapitre II : Mildiou de pomme de terre

**II-1.** Historique..... 7

**II-2.** Symptômes du mildiou ..... 7

**II-3.** L'agent Pathogène..... 11

**II-3.1.** Taxonomie..... 11

**II-3.2.**Classification..... 12

**II-3.3.**Description Morphologique ..... 12

**II-3.4.** Cycle Biologique..... 13

<b>II-4.</b> Les facteurs climatiques.....	<b>16</b>
<b>II-5.</b> Méthodes de lutte.....	<b>16</b>
<b>II-5.1.</b> Lutte prophylactique.....	<b>17</b>
<b>II-5.2.</b> Lutte chimique.....	<b>17</b>

## **Chapitre III : Systèmes de prévisions**

<b>III-1.</b> L'importance des modèles prévisionnels du mildiou	<b>21</b>
<b>III-1.1.</b> Rôle du climat sur le développement de la maladie.....	<b>21</b>
<b>III-1.2.</b> Rôle du climat sur l'hôte.....	<b>22</b>
<b>III-1.3.</b> Rôle du climat sur le pathogène.....	<b>22</b>
<b>III-2.</b> Modèles de prévision du mildiou de la pomme de terre.....	<b>23</b>
<b>III-2.1.</b> Modèle De Jours Favorables (1950).....	<b>23</b>
<b>III-2.2.</b> Hyre (1954).....	<b>24</b>
<b>III-2.3.</b> Période De Smith (1956).....	<b>24</b>
<b>III-2.4.</b> Critère D'Hutton (2017).....	<b>25</b>
<b>III-2.5.</b> Modèle De Valeur De Sévérité (1962).....	<b>25</b>
<b>III-2.6.</b> Modèle De Prognose (1966).....	<b>26</b>
<b>III-2.7.</b> Blitecast (1975).....	<b>27</b>
<b>III-2.8.</b> Negfry (1983).....	<b>29</b>
<b>III-2.9.</b> Sparks (1983).....	<b>32</b>
<b>III-2.10.</b> Sharma (2000).....	<b>33</b>

<b>III-2.11.Shtienberg (2006)</b> .....	<b>33</b>
<b>III-3. Outil d'Aide à la Décision (OAD)</b> .....	<b>33</b>
<b>III-3.1. Stades du cycle de la maladie considéré dans les modèles de prévisions</b> .....	<b>34</b>
<b>Chapitre IV: Matériels et méthodes</b> .....	<b>35</b>
<b>IV.1. Présentation de la région d'étude</b> .....	<b>36</b>
<b>IV.1.1. Localisation de la région d'étude</b> .....	<b>36</b>
<b>IV.2. le climat de wilaya d'Ain defla</b> .....	<b>37</b>
<b>IV.3. Evaluation de la maladie</b> .....	<b>38</b>
<b>IV.3.1. Paramètres étudiés</b> .....	<b>39</b>
<b>IV.4. Définition d'un seuil pluviométrique critique</b> .....	<b>40</b>

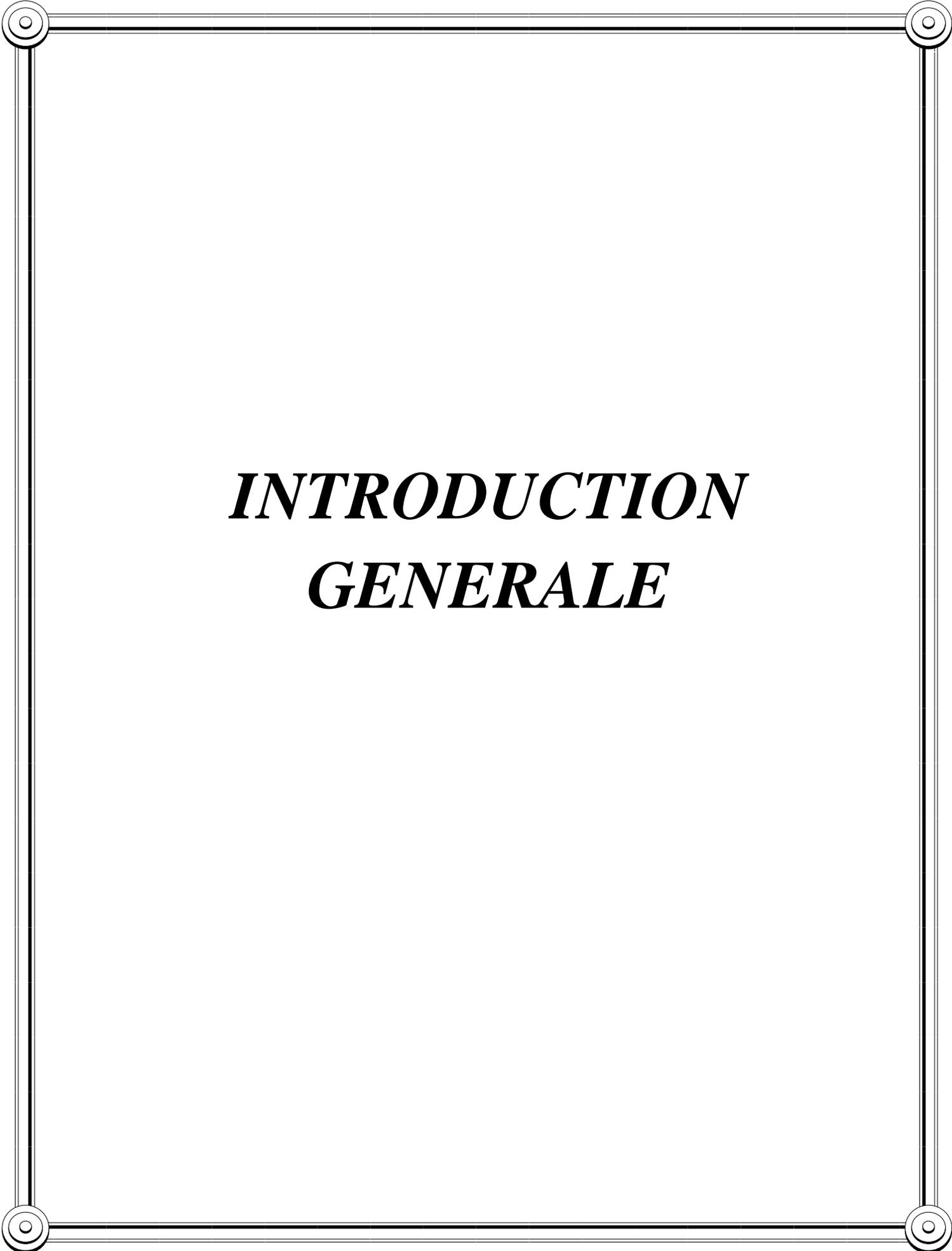
## **Références Bibliographiques**

## LISTE DES ABRIVIATIONS

ABRIVIATION	DISIGNATION
<b>PT</b>	Pomme De Terre
<b><i>P.infestant</i></b>	<i>Phytophthora Infestans</i>
<b>DSA</b>	Direction Des Services Agricols
<b>DSS</b>	Decision Support System
<b>CNCC</b>	Centre National De Controle Et De Certification Des Semences Et Plants
<b>OAD</b>	OutilD'aide À La Décision
<b>Ha</b>	Hectare
<b>HR</b>	Humidité Relative
<b>H</b>	Heure

<b>LISTE DES FIGURES</b>	
<b>FIGURE</b>	<b>PAGE</b>
<b>Figure 1:</b> l'évolution de la production mondiale de PT (2000-2018).	<b>4</b>
<b>Figure 2:</b> symptômes de mildiou sur les jeunes pousses de PT.	<b>8</b>
<b>Figure 3:</b> symptômes de mildiou sur les feuilles de PT.	<b>9</b>
<b>Figure 4:</b> symptômes de mildiou sur la tige de PT.	<b>9</b>
<b>Figure 5:</b> symptômes de mildiou sur les tubercules de PT.	<b>10</b>
<b>Figure 6:</b> Symptômes de mildiou sur la parcelle.	<b>11</b>
<b>Figure 7:</b> Cycle de vie de <i>Phytophthora infestans</i> .	<b>15</b>
<b>Figure 8:</b> Stades du cycle de la maladie considéré dans des modèles de prévisions édités de 1994-2006. Le pourcentage représente entre parenthèses le nombre de modèles qui incluent ce stade dans les simulations.	<b>34</b>
Figure 9 : localisation de la région d'étude	<b>36</b>
Figure 10 : les parcelles de Ain Defla	<b>37</b>
Figure 11 : les parcelles de Djendel	<b>37</b>

<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	
<b>TABLEAU</b>	<b>PAGE</b>
<b>Tableau 1:</b> évolution de la superficie et la production de pomme de terre en Algérie (2000-2018)	<b>5</b>
<b>Tableau 2:</b> classification de <i>Phytophthora infestans</i> .	<b>12</b>
<b>Tableau 3:</b> l'efficacité des fongicide/Co-formulation pour lutter contre <i>P. infestans</i> sur la base du taux le plus élevé enregistré en Europe.	<b>18</b>
<b>Tableau 4:</b> valeurs de risqué du mildiou.	<b>27</b>
<b>Tableau 5:</b> Matrice ajustable utilisée pour relier les valeurs de sévérité et les jours favorables de pluie et la génération des recommandations de pulvérisation pour Blitecast.	<b>29</b>
<b>Tableau 6:</b> Unités de fongicide (pour le chlorothalonil, nom commercial: Bravo) pour la prévision du mildiou décrivant la dégradation de fongicide déterminé par la quantité de pluviométrie et le nombre des jours depuis la dernière application de fongicide.	<b>31</b>
<b>Tableau 7:</b> Unités de valeur à risque.	<b>31</b>
<b>Tableau 8:</b> Règles de décision pour la simulation de prévision.	<b>32</b>
<b>Tableau 9. Les caractéristiques des parcelles étudiées</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 10. :</b> Clef descriptive pour l'évaluation de mildiou de pommes de terre (Cooke et al, 2011)	<b>40</b>
<b>Tableau 11.</b> Cumulé des pluies avant les épidémies (2013-2019)	<b>41</b>



***INTRODUCTION***  
***GENERALE***

## INTRODUCTION GENERALE

Le mildiou causé par *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, est la maladie la plus redoutable sur la culture de pomme de terre et de tomate dans le monde entier. Les pertes globales annuelles due à cette maladie sont colossales (environ 6 milliards \$) englobant les pertes de rendement et de couverture phytosanitaire (Haverkort et al, 2008). 900 millions € des pertes sont estimées seulement en Europe. (Cooke et al, 2017).

La pluparts des agriculteurs dans le monde n'ont pas les connaissances, ni les moyens nécessaire pour réussir la gestion de cette maladie et subissent des pertes considérables. D'autres problèmes rendent la lutte plus difficile, dans plusieurs régions de production, comme l'indisponibilité des plantes résistantes, l'accès à une semence de qualité, l'efficacité et la disponibilité des fongicides, les ressources financières, la présence des sources d'inoculum permanent dans certain région et les risques élevés d'échec de la stratégie de control (Cooke et al, 2017).

En Algérie, la stratégie de lutte face à cette maladie est essentiellement basé sur l'utilisation des fongicides tel que : Prévicure, Infinito, Sereno, Equation Pro, Curzate, Mancozébe, Ridomil, Manèbe. Généralement, l'application de ces produits chimiques se réalisent de façon systématique, sans planification prévisionnelle, à raison de un à deux traitement par quinze jours. Ces pratiques d'utilisation des fongicides, engendrent souvent la pollution et la présence des résidus dans les tubercules, avec des conséquences graves sur le développement des formes de résistance de pathogène.

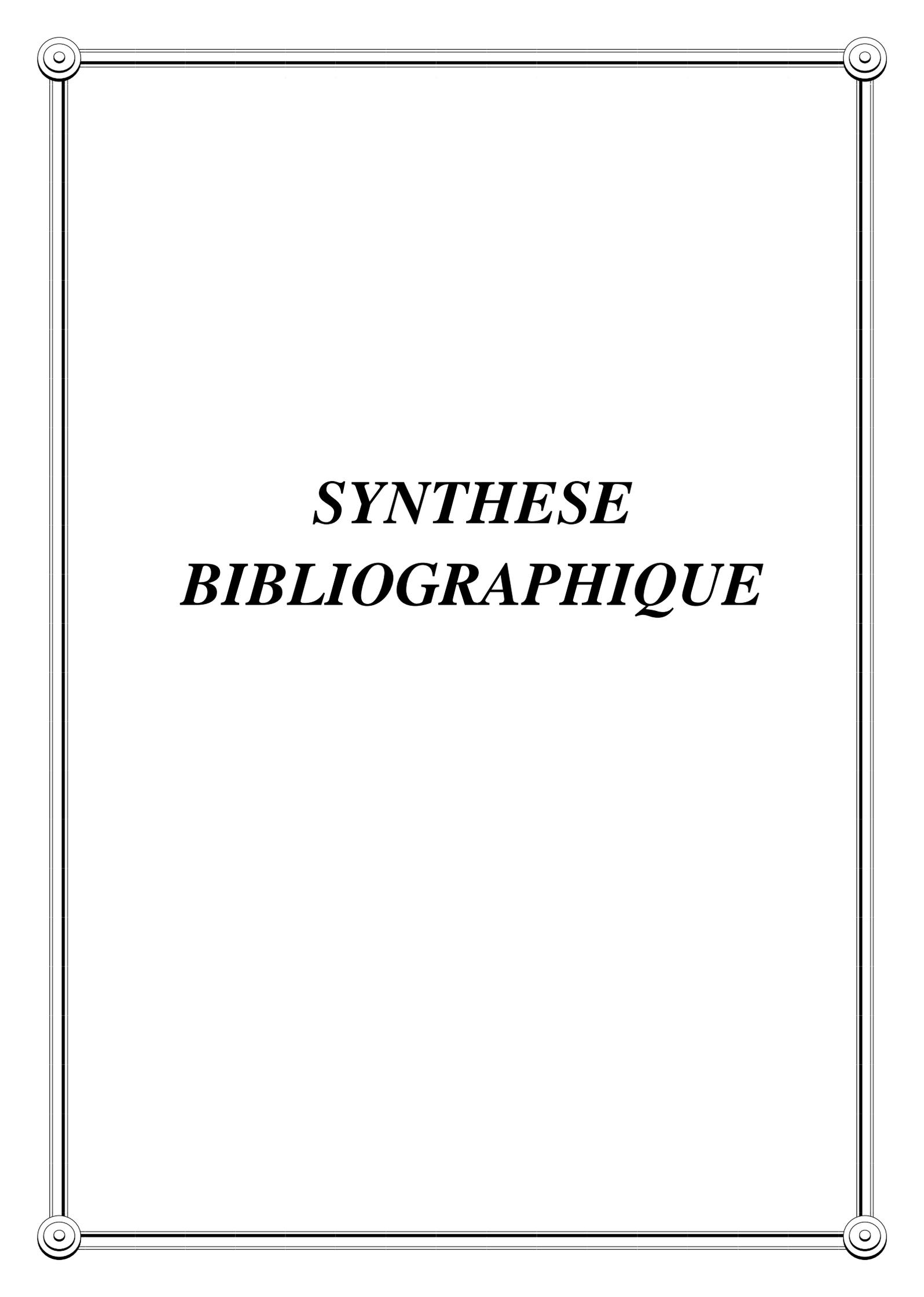
Pour réussir la stratégie de lutte contre le mildiou, on devrait prendre en considération les facteurs climatiques, le niveau de résistance de la variété cultivée et les caractéristiques du pathogène d'une part. D'autre part, elle nécessite la combinaison entre les méthodes culturales, afin de réduire l'inoculum et la dissémination de la maladie, et l'utilisation des fongicides. L'interaction entre ces facteurs rend la lutte plus complexe. Cette complexité a orienté la lutte vers le développement et l'utilisation des modèles prévisionnels.

Plusieurs modèles prévisionnels, ou système d'aide à la décision (DSS : Decision Support System), sont aujourd'hui développés et validés localement pour la planification efficace des fongicides en fonction des données météorologiques. L'utilisation des modèles peut améliorer l'efficacité des stratégies de contrôle, et réduire l'impact environnemental de l'intensité des systèmes de pulvérisation.

La période d'efficacité des fongicides, sur le feuillage de la pomme de terre, est influencé par les conditions climatiques, car les fongicides se dégradent sous l'effet de la température élevée, la photolyse, les pluies et la volatilisation [Neely, 1970]. Les pluies peuvent dégrader la pluparts des fongicides de contact, cette dégradation est en fonction de la durée et l'intensité des pluies (Fife et Nokes, 2002).

Les résultats de la surveillance de la maladie dans la région de Haute Cheliff ont montré que la plupart des épidémies du mildiou se développent durant le mois d'avril, après une période pluvieuse accompagné par des températures nocturnes supérieure à 10 °C et un ciel nuageux (Abderrahmane et Benchabane, 2017).

L'objectif de notre étude dans la région de Haute Cheliff est de définir un cumulé critique de pluviométrie, à partir des données de l'étude et de l'historique d'attaque de mildiou dans cette région, dans le but d'améliorer l'efficacité de la lutte chimique.



***SYNTHESE***  
***BIBLIOGRAPHIQUE***



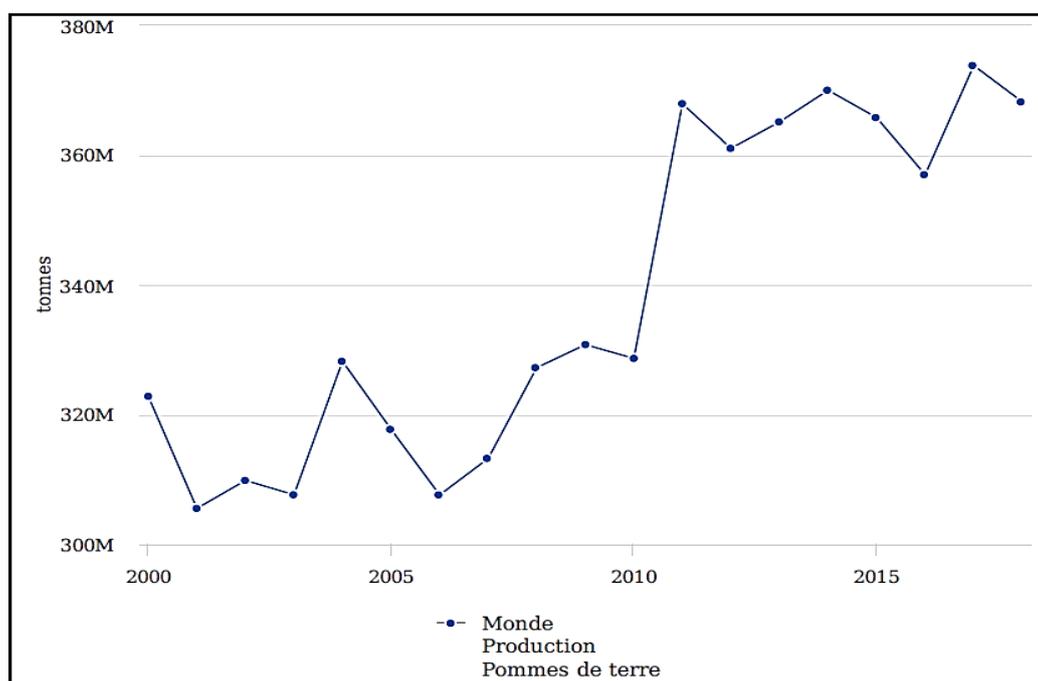
*CHAPITRE I*  
**GENERALITE SUR LA  
POMME DE TERRE**

## I- GENERALITES SUR LA POMME DE TERRE

### **I-1. La Pomme De Terre Dans Le Monde :**

La pomme de terre est la troisième culture la plus consommée par l'homme, après le riz et le blé, au niveau mondial et la première culture non céréalière. Elle est reconnue comme aliment de base pour la population mondiale, Elle représente une bonne source d'énergie (amidon) et joue un rôle essentiel dans la réduction de la pauvreté et l'assurance de la sécurité alimentaire du monde en développement (FAOSTAT, 2007).

La production mondiale de cette culture a augmenté considérablement depuis la fin du XX<sup>ème</sup> siècle, où elle a dépassée 300 millions de tonnes. Actuellement, la production est autour de 360 millions de tonnes (**Figure1**) (FAOSTAT 2020). Les pays producteurs se concentrent dans l'Asie, l'Afrique et l'Amérique latine.



**Figure 1** : l'évolution de la production mondiale de PT (2000-2018)

## I-2. Culture De La Pomme De Terre En Algérie :

La pomme de terre représente la principale culture maraîchère de point de vue superficie et production en Algérie. Elle occupe environ 150 milles hectares actuellement. La production de cette culture a enregistré une évolution considérable durant ces dernières années. Elle est passée de 1,2 millions de tonnes en 2000 à 4,6 millions de tonnes en 2018 (**Tableau 1**) (FAOSTAT, 2020).

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

**Tableau1** : évolution de la superficie et la production de pomme de terre en Algérie (2000-2018)

La culture de pomme de terre est pratiquée sur presque l'ensemble du territoire national, y compris le sud du pays. Trois wilayat à savoir, Mostaganem, Aïn Defla et El Oued approvisionnent le marché de plus 43% de la production annuelle nationale (Tria et Chehat, 2013).

La diversité des agro-écosystèmes en Algérie permet de cultiver la pomme de terre durant presque toute l'année (Tria et Chehat, 2013). La culture de primeur (plantation en Octobre- Novembre) représente 4% seulement de la production nationale et se localise sur le littoral (Mostaganem, Tipaza, Boumerdes, et Skikda). La culture de saison occupe 56 % de la production totale. La récolte de la culture de saison se fait essentiellement durant le mois de mai au mois juillet. La culture d'arrière-saison représente 40 % de la production totale, elle est produite essentiellement durant les mois de décembre, janvier et février.

Les variétés les plus cultivées sont: Bartina, Kondor, Désirée et Spunta (CNCC, 2012), cette dernière variété représente 40% des superficies cultivées, les autres variétés occupent la deuxième place avec 35%.

L'état algérien a consacré beaucoup d'effort pour développer et organiser cette filière, considéré comme stratégique et à large consommation, mais les programmes de développement sont confrontés par plusieurs obstacles comme l'indisponibilité des semences qui sont totalement importés et leurs couts élevés, le manque d'eau d'irrigation dans certaine zone, le cout élevé des produits phytosanitaires.



**CHAPITRE II**  
**MILDIOU DE POMME**  
**DE TERRE**

## **II-MILDIU DE POMME DE TERRE**

Le mildiou de la pomme de terre est une maladie qui a marqué l'histoire de l'humanité, causé par *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. Il est l'une des maladies les plus redoutables de cette culture. Elle est présente partout dans le monde là où la culture de la pomme de terre existe et aujourd'hui encore, elle reste le principal facteur limitant à l'échelle mondiale (Duvauchelle et Andrivon, 1996). Elle peut également causer des dommages sur d'autres Solanacées sauvages et cultivées, en particulier sur tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Turkensteen, 1978). Sur pomme de terre, le mildiou peut détruire une culture entière en moins de deux semaines, les pertes de rendements pourraient atteindre alors 100% (Gaucher et al, 1998).

### **II-1. Historique :**

Les recherches concernant l'histoire généalogique du mildiou ont montré que le mildiou actuel dériverait des populations des Andes, du Pérou et de l'Equateur (Gómez-Alpizar et al. 2007). D'autres auteurs pensent que le centre d'origine de la maladie serait la vallée de Toluca au Mexique (Grünwald et Flier, 2005), où la diversité des populations de *P. infestans* est maximale.

Rares sont les maladies des plantes qui, comme le mildiou de la pomme de terre, ont marqué l'histoire. *P. infestans* a été observé pour la première fois en Europe en 1832 près de Hanovre, mais en réalité c'est au mois de juin 1845 dans les Flandres belges que la maladie prend réellement un caractère épidémique. La maladie progresse alors de 100 à 200 km par mois si bien qu'elle atteint, à la mi-octobre, le sud de la France, l'Ecosse, l'Irlande, la Scandinavie (Andrivon, 1996). Il a été l'origine de la grande famine irlandaise (en 1845) causant la mort de plus d'un million de personnes. (Dominique *et al*, 2009).

### **II-2.Symptômes Du Mildiou:**

Les symptômes du mildiou peuvent être observés sur l'ensemble des parties de la plante: 1-jeunes pousses (foyer primaire), 2-feuilles 3- sur les tiges et enfin sur les tubercules (Bennani, 2011).

### **II-2.1. Sur Les Jeunes Pousses :**

Les jeunes pousses attaquées sont couvertes d'un duvet blanchâtre (fructification du parasite) elles sont en générales détruites très rapidement et donc rarement détectées. Ces taches huileux brunissent rapidement, et s'entourent d'un liseré jaune à la face supérieure des limbes. Sur la face inférieure, le pourtour de la zone nécrosée laisse apparaitre, en condition de forte humidité, les fructifications du parasite (**Figure 2**). (James et al, 1972).



**Figure 2** : symptômes de mildiou sur les jeunes pousses de PT  
(Photographies INRA - R Corbière).

### **II-2.2.Sur Feuille :**

Sur les feuilles des plantes attaquées, on observe d'abord des zones vert-pâle, aqueuses, à contour irrégulier, qui s'étendent lorsque les conditions sont favorables.

Les zones infectées forment des lésions nécrotiques brunes ou noir-violet entourés d'un halo vert-pâle à jaunâtre.

Par temps humide, on voit apparaître à la périphérie de la zone infectée, généralement à la face inférieure de la feuille, un amas blanc et duveteux de mycélium et de sporanges servant à la reproduction asexuée. (**Figure 3**) (Rekad, 2018)



**Figure 3** : symptômes de mildiou sur les feuilles de PT (Photographie F.Z. Rekad).

### **II-2.3. Sur Tiges :**

Le symptôme typique est une nécrose brune violacée, s'étalent sur 2 à 10 cm à partir d'un nœud. Par temps humide, cette nécrose couverte d'une pulvérulence reste souvent rigide, contrairement aux symptômes observés lors de pourritures bactériennes, mais casse très facilement (Bennani, 2011). (**Figure 4**)



**Figure 4** : symptômes de mildiou sur la tige de PT (Photographie F.Z. Rekad).

#### **II-2.4. Sur Tubercules :**

Les attaques surviennent en cas de précipitation abondante durant la phase de grossissement. A la récolte ou quelque semaine après, le mildiou se révèle par des plages superficielles irrégulières, gris bleuâtres, violacées ou brunes. En section, on remarque des zones marbrée rouille ou brunâtres, se développant vers l'intérieur du tubercule (Bennani, 2011). **(Figure 5)**



**Figure 5** : symptômes de mildiou sur les tubercules de PT (Photographie F.Z. Rekad).

Toutefois, dans la plupart des cas, s'ajoutent à cette pourriture sèche de la pourriture humide d'origine bactérienne (*Erwinia* le plus souvent à qui se propagent aux tubercules voisins).

La répartition des nécroses sur la plante est variable. Sauf pour les toutes premières, difficiles à déceler, les taches apparaissent rarement de façon isolée. Par temps chaud et humide, elles gagnent rapidement la surface entière des folioles touchées ; en quelque jours, la totalité du feuillage peut être ainsi détruit. Les folioles se désarticulent, retombent, se fanent ou se détachent complètement (Bennani, 2011).

Au niveau de la parcelle, la maladie se développe en général à partir de foyers bien marqués, qui s'agrandissent (Bennani, 2011). **(Figure 6)**



**Figure6** : Symptômes de mildiou sur la parcelle,(Photographies: R.Corbière, C. Chatot)

## **II. 3. L'agent Pathogène:**

### **II. 3. 1. Taxonomie:**

Le genre *Phytophthora* fut décrit pour la première fois par Heinrich Anton de Bary en 1875. Parmi les espèces les plus connues de ce genre, *P. infestans* (Zentmyer, 1983).

Dans les anciennes classifications, plusieurs caractéristiques phénotypiques et biochimiques ont conduit au classement des oomycètes au sein du règne des champignons. Parmi ces caractéristiques communes, on trouve la structure filamenteuse, l'absence de pigment chlorophyllien et l'organotrophie. Cependant, la présence de cellulose dans les parois cellulaires, la diploïdie au cours de l'essentiel du cycle de développement, l'existence de zoospores biflagellées et les analyses phylogénétiques moléculaires ont montré que les oomycètes n'appartiennent pas au règne des champignons. (Hackett et al, 2007; Harper, Waanders et Keeling, 2005; Martens, Vandepoele et Van de Peer, 2008).

Les dernières études taxonomiques et phylogéniques ont démontré que les oomycètes sont des straminopiles, et donc plus proches des algues brunes que des champignons supérieurs (Kroon et al, 2004 ; Avila- Adame et al, 2006).

### II. 3. 2. Classification:

<b>Règne</b>	Chromista Cavalier-Smith, 1981
<b>Sous-Règne</b>	Harosa Cavalier-Smith, 2010
<b>Infra-Règne</b>	Heterokonta Cavalier-Smith, 1986
<b>Phylum</b>	OomycotaArx, 1967
<b>Classe</b>	Peronosporae
<b>Sous-Classe</b>	Peronosporidae
<b>Ordre</b>	PeronosporalesE.Fisch., 1892
<b>Famille</b>	Peronosporaceae de Bary, 1863
<b>Genre</b>	Phytophthora de Bary, 1876
<b>Espèce</b>	<u><i>Phytophthora infestans</i></u> (Mont.) de Bary, 1876

**Tableau 2 :** classification *Phytophthora infestans*

(Asakaviciute et al, 2013 ; Liebeskind, 1969).

### II. 3.3. Description Morphologique :

*Phytophthora infestans* pousse d'un mycélium coenocytique hyalin et à développement endogène. Le mycélium se développe entre les cellules des tissus infectés, dans lesquelles, il forme des suçoirs (Lepoivre, 2003).

Les sporangiophores émergent souvent à travers les stomates. Le caractère morphologique principal de ce pathogène est la présence de renflement ou de gonflement au niveau des sites de ramification en particulier aux points de la formation des sporocystes (Thurston et Schulz, 1981). Ces derniers en position terminale ont une forme et une taille qui varie selon les isolats. Les sporanges sont citriformes ou limoniformes et possèdent une papille apicale.

Les sporanges de *P.infestans* sont de forme ovoïde à elliptique effilé à la base, et renferment des cellules mobiles appelées zoospores qui assurent la reproduction asexuée.

Ces zoospores se déplacent grâce à deux flagelles dissemblables; le flagelle orienté postérieurement est lisse. Le flagelle orienté antérieurement reste couvert de poils particuliers ou masigonemes, tubulaires et tripartites, d'où le nom d'hétérocontes (Bouchet et al, 2000).

Les oospores sont pour la plupart de forme aplrétotique avec un diamètre moyen d'environ 30  $\mu\text{m}$  (Gallegly et Hong, 2008). Ces derniers germent et produisent des sporanges.

Les oogones sont globuleux, d'un diamètre de 37  $\mu\text{m}$  alors que les anthéridies sont amphigynes généralement de forme allongée (Gallegly et Hong, 2008).

#### **II.3.4. Cycle Biologique:**

*P.infestans* est une espèce hétérothallique, avec deux types de compatibilité sexuelle A1 et A2. La rencontre de deux souches compatibles donne lieu à la formation de spores sexuées; les oospores (Andersson *et al.* 1998). Le cycle de vie de ce parasite peut donc se décomposer en une phase épidémique, alimentée par la succession de nombreux cycles de production de spores asexuées et une phase de survie, sous forme sexuée ou asexuée (**Figure 7**).

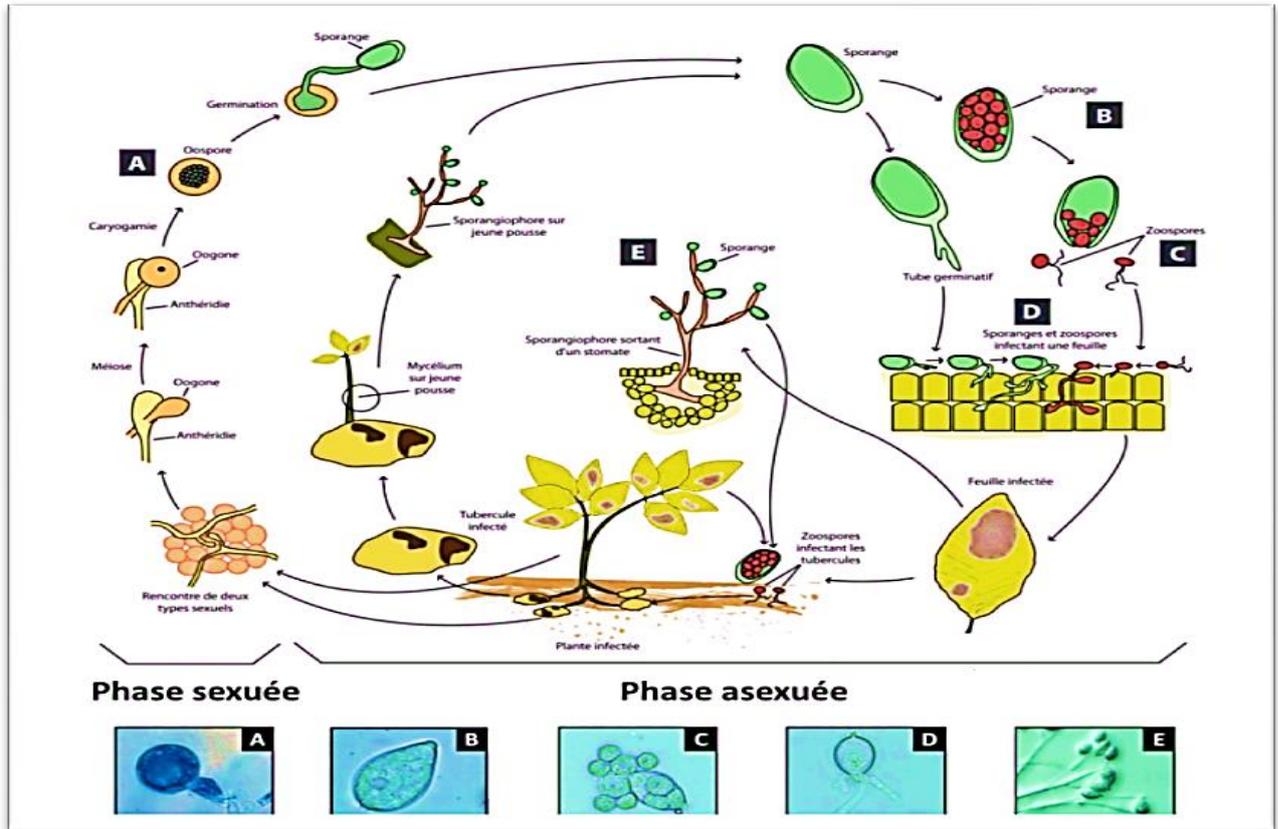
La phase épidémique du cycle de vie de *P. infestans* est initiée par les sporanges qui germent au contact de la plante hôte, soit de manière directe ou via la formation de zoospores biflagellées (entre 6 et 10 par sporange selon les conditions climatiques), (Judelson & Blanco 2005, Clément 2011) (Danies *et al.* 2013). Après enkystement pour ces derniers (Sporanges et/ou zoospores), ils émettent alors un tube germinatif leur permettant de pénétrer dans la plante hôte, soit par des ouvertures naturelles comme les stomates et les lenticelles, soit au travers des parois végétales par formation d'un appressorium (Coffey & Gees 1991). Par la suite, si l'interaction avec l'hôte est compatible, un haustorium est formé, puis un réseau d'hyphes intra- et intercellulaire envahit les tissus (Coffey & Gees 1991).

Après une période de latence, d'au minimum 2-3 jours pour des températures comprises entre 17 et 25°C et une forte humidité relative (Robertson, 1991), des sporangiophores sont différenciés au travers des stomates. Ces structures arbusculaires portent de nouveaux sporanges à leurs extrémités (Judelson & Blanco 2005; Fry 2008). Ils vont constituer l'inoculum secondaire: ils seront transportés par le vent ou l'eau jusqu'à d'autres organes du même hôte ou de nouveaux hôtes qu'ils pourront infecter, initiant alors de nouveaux cycles de reproduction. La brièveté du cycle asexué de *P. infestans* et la production d'importantes quantités des spores (sporangies et zoospores), qui peuvent être véhiculées sur longues distances (Aylor 2003; Glaiset *al.* 2014), expliquent le développement rapide de la maladie.

La survie de *P. infestans* hors de la période de culture de la pomme de terre peut avoir lieu sous forme sexuée grâce à leur structure de survie, les oospores, ou sous forme asexuée via le mycélium au sein de végétaux vivants (repousses) ou de tubercules (Andrison, 1995).

Les événements de reproduction sexuée peuvent se produire lorsque deux souches sexuellement compatibles se trouvent au même moment sur une foliole, conduisant ainsi à la formation d'oospores. Ces spores sexuées possèdent une paroi très épaisse (0,7-1,0 µm ; Drenth *et al.* 1995) leur permettant de survivre en absence d'hôte dans le sol pendant plusieurs années, même sous des conditions climatiques défavorables, tout en restant capable de réinfecter de nouvelles plantes (Andersson *et al.* 1998). Au contact ou à proximité d'un hôte, les oospores pourront alors germer, donnant un sporange qui pourra alors entamer un cycle asexué.

Par ailleurs, les spores asexuées du parasite et en particulier les zoospores, produites sur le feuillage de leur hôte pendant une épidémie, peuvent tomber au sol et être entraînées par ruissellement vers les tubercules. Ces spores peuvent alors infecter les tubercules, à travers les lenticelles ou des blessures, pour former un mycélium. Le parasite peut survivre sous cette forme pendant plusieurs mois si les conditions climatiques sont clémentes. Par la suite, lorsque les tubercules infectés qui ne sont pas récoltés germent à nouveau, les repousses formées seront infectées par le mycélium. Cela conduira alors à la formation de sporangiophores portant des sporanges qui pourront alors redémarrer un nouveau cycle asexué.



**Figure 7 :** Cycle de vie de *Phytophthora infestans* (S. Martineau, adapté d'Agrios 2005).  
**A :** Oospore ; **B:** Sporange ; **C :** zoospores sortant d'un sporange ; **D :** Germination d'un sporange ; **E :** Sporangiospore. (Photographies : R. Corbière, R. Mabon, A. Androdia)

Dans les zones géographiques où les conditions climatiques limitent fortement la survie de *P. infestans* sous forme de mycélium, les épidémies de mildiou sont principalement initiées à partir de sporanges issus des oospores (Yuen & Anderson 2013), ou à partir de tubercules de semences infectés. Dans ces zones, les populations de *P. infestans* présentent ainsi de hauts niveaux de diversité génétique en raison du fait que l'inoculum primaire soit issu de la reproduction sexuée (Sjöholm *et al.* 2013 ; Yuen & Anderson 2013).

A l'inverse, dans des régions où le climat est favorable à la survie du parasite sous forme de mycélium dans les tubercules, l'inoculum primaire est principalement issu de sporanges produits à partir de repousses et/ou de tas de déchets (Pasco *et al.* 2015). Dans Ces régions, les populations de *P. infestans* sont caractérisées par des structures clonales avec la présence d'un faible nombre de clones dominants, avec par conséquent de faibles niveaux de diversité génétique (Montarryet *et al.* 2010b ; Cooke *et al.* 2012 ; Li *et al.* 2012).

## II. 4. Les Facteurs Climatiques :

Le développement de *P. infestans* nécessite des facteurs biotiques (plante hôte) et abiotiques (climatiques) favorables tel que la température et l'humidité.

- **La Température :**

Les exigences thermiques des *Phytophthora* sont diverses, adaptées aux conditions d'environnement des différentes espèces dans leur biotope (Boccas, 1979). Chez *P. infestans*, La température optimale pour la croissance mycélienne est près de 21°C (Alexopoulos, 1962). Chez plusieurs espèces de *Phytophthora*, les températures favorables à la reproduction sexuée sont sensiblement inférieures à celles de la croissance mycélienne (Drenth et al. 1995). La production des oospores est obtenue in vitro à des températures comprises entre 18 et 21°C et in vivo de 8 à 20°C (Cohen et al, 1997 ; Drenth et al, 1995).

- **l'Humidité:**

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

- **La Lumière :**

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

## II. 5. Méthodes De Lutte :

La priorité de la lutte contre le mildiou est d'empêcher l'installation de la maladie, et de réduire au maximum la vitesse de propagation de l'agent pathogène (Lebreton, 1998). Lorsque les infections sont déclarées, il faut limiter le plus possible leur développement pour préserver le feuillage et aussi pour éviter la contamination ultérieure des tubercules (Duvauchelle et Andrivon, 1996).

### **II. 5.1.Lutte Prophylactique :**

Le meilleur moyen préconisé est de limiter au maximum les sources d'inoculum primaire en éliminant principalement les tas de déchets, les tubercules infestés laissés aux champs après récolte, (Gaucher et al, 1998). L'utilisation d'une semence saine est aussi indispensable. Ces mesures sont essentielles pour limiter l'importance des attaques et retarder leur développement. (Duvauchelle et Andrivon, 1996).

### **II. 5.2. Lutte Chimique :**

La lutte chimique préventive et éventuellement curative, avec l'utilisation des fongicides de contact, pénétrant ou systémique (**Tableau 3**), reste la principale mesure contre cette maladie (Gaucher et al, 1998). Toutefois, l'utilisation massive des fongicides systémiques a conduit à la sélection des souches résistantes à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides (métalaxyl et son énantiomère méfénoxam, béalaxyl, oxadixyl) (Gisi et Cohen, 1996). De plus, les effets nocifs de l'emploi des pesticides sur la santé des utilisateurs et sur l'environnement obligent aujourd'hui à les utiliser d'une façon plus raisonné.

**Tableau 3:** l'efficacité des fongicide/Co-formulation pour lutter contre *P. infestans* sur la base du taux le plus élevé enregistré en Europe

Produit (dose [litre ou kg/ha])	Feuille	Tubercule	Nouvelle croissance	Tige	protectant	curatif	Anti sporulant	pluie	mobilité	Année
Cuivre				●	●●	0	0	●	C	1900
dithiocarbamates (2.0) <sup>1</sup>	2.0	0.0		●	●●	0	0	●●	C	1961
Chlorothalonil				●	●●	0	0	●●●	C	1964
cyazofamide (0.5)	3.8	3.8	●●	●	●●●	0	0	●●●	C	2001
fluaziname (0.4)	2.9			●	●●●	0	0	●●●	C	1992
zoxamide + mancozebe (1.8)	2.8			● <sup>5</sup>	●●●	0	0	●●●	C + C	2001
amisulbrom + mancozèbe (0.5+2.0)	4.5	3.7		●	●●●	0	?	●●●	C + C	2007
ametocradine + mancozebe (2.5)	3.7		? <sup>8</sup>	? <sup>8</sup>	●●●	0	0	●●●	C + C	2011
fluaziname + azoxystrobine (0.5)	3.6								C + C	2016
famoxadone + cymoxanil				●●	●●	●●	●	●●●	C + T	1996
(zoxamide + mancozebe) + cymoxanil (1.8+0.2)	3.4								C + T	2001
mandipropamide (0.6)	4.0		●●	●●	●●●	● <sup>6</sup>	●●	●●●	C/T	2005
mandipropamide + difenoconazole (0.6)	4.0		●●	●●	●●●	● <sup>6</sup>	●●	●●●	C/T + C	2005
benthiavalicarbe (0.5)	4.2								T	2018
benthiavalicarbe + mancozebe (2.0)	3.7			● <sup>5</sup>	●●●	●●	●	●●●	T + C	2003
cymoxanil + metirame				●●	●●	●●	●	●●	T + C	1976
cymoxanil + cuivre				●●	●●	●●	●	●●	T + C	1976
cymoxanil + mancozebe				●●	●●	●●	●	●●	T + C	1976
dimethomorphe + mancozebe (2.4)	3.0			●●	●●●	●	●●	●●●	T + C	1988
dimethomorphe + fluaziname (1.0)	3.7	3.3	●	●	●●●	●	●●	●●●	T + C	2012
fenamidone + mancozebe (1.5)	2.6			● <sup>5</sup>	●●●	0	●● <sup>5</sup>	●●	T + C	1998

Mildiou De Pomme De Terre

18

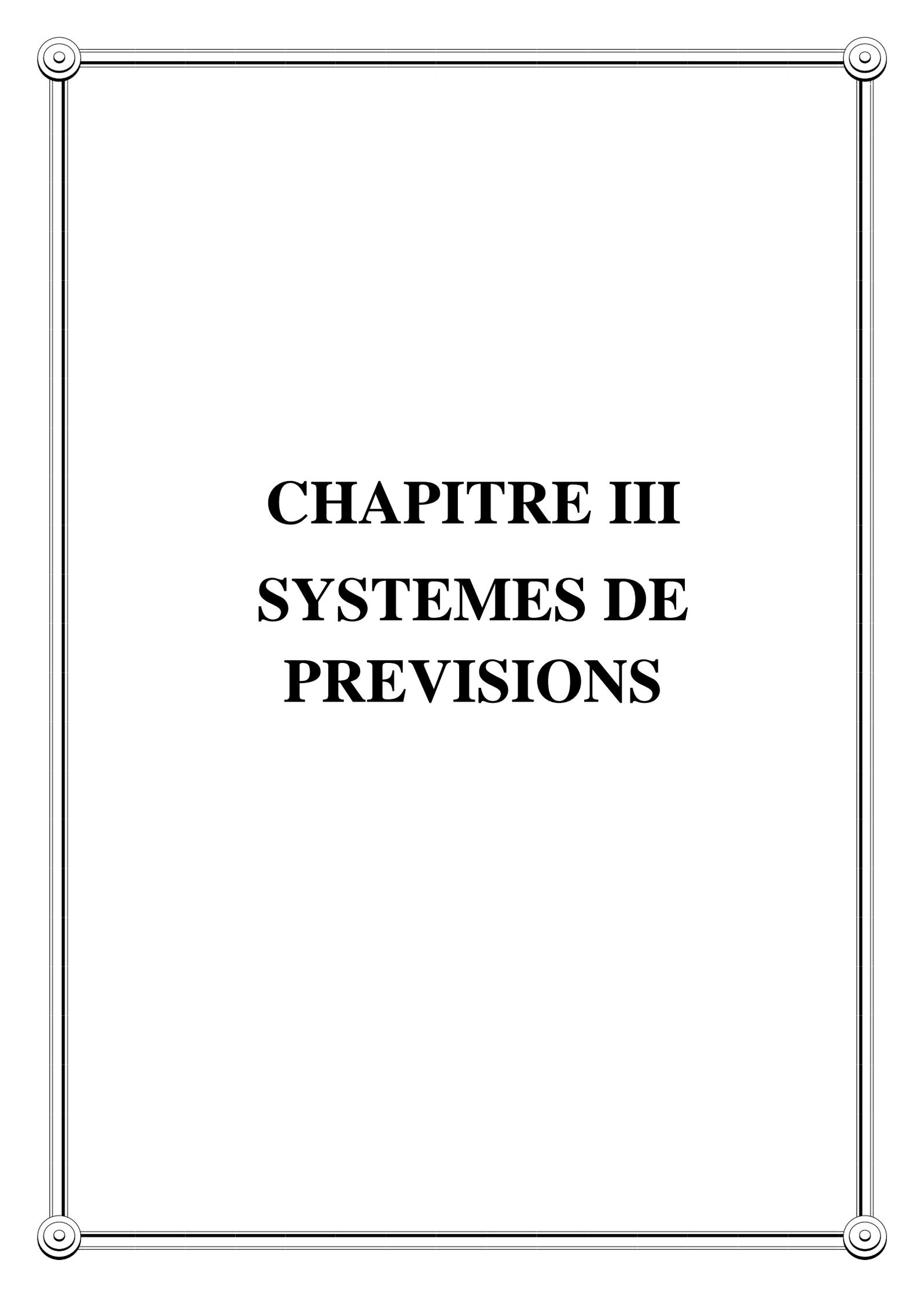
(zoxamide + cymoxanil) + fluaziname (0.45+0.4)	4.0								C/T + C	2013
(zoxamide + dimethomorphe) + fluaziname (1.0+0.4)	4.2								C/T + C	2015
mandipropamide + cymoxanil (0.6)	4.4		●●	●◀	●●●	●●	●◀	●●●	C/T + T	2013
(pyraclostrobine + dimethomorphe) + adjuvant (2.5+1.0)	4.07								C/T + T	2012
benalaxyl-M + mancozebe2	3.0		●●	●●	●●◀	●●◀	●●◀	●●●	S + C	1981
metalaxyl-M + mancozebe2			●●	●●	●●◀	●●◀	●●◀	●●●	S + C	1977
metalaxyl-M + fluaziname2			●●	●●	●●◀	●●◀	●●◀	●●●	S + C	
propamocarbe + cymoxanil + cyazofamide ((2.0)+0.5)		4.6							S + T + C	2012
propamocarbe + cymoxanil (2.0)					●◀	●●◀ <sup>9</sup>	●●◀		S + T	2011
propamocarbe-bHCl + fenamidone (2.0)	2.5		●◀	●●	●●◀	●●	●●	●●●	S + T	1998
propamocarbe-HCl + fluopicolide (1.6)	3.8	3.9	●●	●●	●●●	●●	●●◀	●●◀	S + C/T	2006
oxathiapiproline (0.15)			●●◀	●●	●●●	●●	●●◀	●●●	S	2017
oxathiapiproline + famoxadone (0.5)	4.9	4.1	●●◀	●●	●●●	●●	●●◀	●●●	S + C	2018
oxathiapiproline + amisulbrome (0.15+0.3)	4.9								S + C	2018
oxathiapiproline + bentiavalicabe (0.4)	4.97	3.4	●●◀	●●	●●●	●●	●●◀	●●●	S + T	2019

Tapez une équation ici.

Les évaluations de mildiou sont basées sur les résultats des essais d'Euroblight sur le terrain entre 2006 et 2015, et seuls les composés inclus dans ces essais sont classés pour le mildiou des feuilles. L'échelle de mildiou des feuilles est une échelle de 2 à 5 (voir le rapport technique: Évaluation des fongicides pour évaluer l'efficacité de la lutte contre le mildiou des feuilles pour le tableau Euroblight. Résultats 2006 - 2018 ici). Toutes les autres évaluations sont de 1 à 3, indiquées par une combinaison de points orange pleins (1) et demi (½):

<b>Légende des notes</b>	
<b>0</b>	<i>Aucun Effet</i>
	<i>Effet Raisonnable</i>
	<i>Bon Effet</i>
	<i>Très Bon Effet</i>
<b>Vide</b>	<i>Pas De Note</i>

Les évaluations de mildiou du tubercule sont basées sur les résultats des essais d'EuroBlight sur le terrain entre 2009-2018, et seuls les composés inclus dans ces essais sont classés pour le mildiou du tubercule. L'échelle pour le mildiou des tubercules est une échelle de 0 à 5 (EuroBlight, 2020).



**CHAPITRE III**  
**SYSTEMES DE**  
**PREVISIONS**

### **III-SYSTEMES DE PREVISIONS**

#### **III-1.L'importance des modèles prévisionnels du mildiou :**

La prévision est l'épidémiologie appliquée, elle a besoin d'une connaissance complète des facteurs affectant l'évolution de la maladie. Un modèle de prévision des maladies prédit le développement ou les changements d'intensité d'une maladie ou plus, sur la base d'informations : météo, culture, pathogène (s) ou une combinaison de trois. La prévision comprend toutes les activités d'informer les agriculteurs que :

- Les conditions météorologiques sont suffisamment favorables pour certaines maladies.
- L'application des mesures de contrôle sont économiquement rentable.
- Il est prévu que la quantité de maladie est suffisamment faible pour justifier la dépense de temps, d'énergie et l'argent pour le contrôle.

La prévision aide les producteurs à programmer les traitements phytosanitaires et réduire les coûts impliqués en éliminant les pulvérisations inutiles et les coûts de main-d'œuvre sans augmenter le risque de perdre la récolte. La prévision est une approche rationnelle sur le plan écologique et économique, comme la lutte cultural et biologique (Vaibhav et al, 2013).

#### **III-1.1. Rôle du climat sur le développement de la maladie:**

Les conditions favorables à l'apparition et à l'accumulation de la maladie sont une température de 10 à 22°C, une humidité supérieure à 75%, un temps nuageux ou brumeux (Bhattacharyya et al, 1983; Deweille, 1964). La température ambiante, l'humidité relative, la lumière, le brouillard, les précipitations, la rosée, la vitesse du vent ont une relation étroite avec le pathogène du mildiou et la maladie. (Harrison, 1992; Rotem et al, 1971; Wallin, 1953).

Habituellement, l'infection par les zoospores prend moins de temps car les zoospores restent mobiles jusqu'à 22 heures à une température de 5 à 6°C, tandis qu'une température élevée, c'est-à-dire 24 à 25°C, diminue la motilité des zoospores. Les sporanges se forment à une humidité élevée et se dispersent à haute température et à faible humidité relative. Le détachement des sporanges est principalement dû aux changements d'humidité (Singh, 2007).

Une température inférieure à 23,3°C est plus favorable au développement de la maladie. Les conditions épidémiques sont principalement favorisées par l'humidité, c'est-à-dire que la survie prolongée des sporanges nécessite une humidité relative élevée. Le développement de la maladie dépend également de la présence d'eau libre à la surface du feuillage. En l'absence de film d'eau environnant, les sporanges en suspension dans l'air perdent leur viabilité. La sensibilité de l'hôte dépend de la distribution et de la durée de l'air saturé ou presque saturé avec les feuillages. Le vent est l'un des facteurs importants de propagation des maladies. La photopériode, l'intensité lumineuse ont un impact direct sur le développement des agents pathogènes et la sensibilité de l'hôte.

### **III-1.2. Rôle du climat sur l'hôte:**

La température affecte le taux de croissance et de développement de la plante hôte. Les jeunes plants de pomme de terre sont plus sensibles à la maladie du mildiou que les plants plus âgés de pomme de terre. En général, les plants de pomme de terre qui poussent dans des conditions de jours courts sont plus sensibles au mildiou.

### **III-1.3. Rôle du climat sur le pathogène:**

La température optimale pour le développement des champignons est de 16 à 24°C. Pour la production de sporanges, une température de 19 à 22°C est requise. À une vitesse d'air plus élevée, de nombreux sporanges se forment même à une humidité relative de 100%. La sporulation est favorisée par une humidité élevée

autour du feuillage avec une surface mouillée des plantes. La sporulation sur le terrain est également inhibée par la lumière pendant la journée. Les sporanges ne se forment que la nuit, lorsque la température et l'humidité favorise la sporulation. Les sporanges germent en libérant des zoospores à basse température, soit 4-12°C tandis qu'à haute température (20-27°C), la germination directe a lieu. Les sporanges et les zoospores ne germent qu'en présence d'eau libre. Une faible intensité lumineuse (300-390 nm) augmente la proportion de germination des sporanges tandis qu'une intensité lumineuse élevée tue la spore. L'oospore nécessite une température de 12 à 25°C et de l'eau ou une solution diluée aqueuse pour la germination (Singh, 2007).

### **III-2. Modèles de prévision du mildiou de la pomme de terre:**

Divers modèles de prévision ont été développés et utilisés au fil des ans pour prédire le mildiou de la pomme de terre à travers le monde. Ces modèles sont donnés ci-dessous:

#### **III-2.1. Modèle de jours favorables (1950)**

Le modèle est principalement basé sur les enregistrements de précipitations journalières et la température maximale et minimale. Nugent (1950) a élaboré ce modèle pour les régions où l'occurrence de mildiou était inférieure à 50%.

La pulvérisation des fongicides est recommandée lorsque les précipitations cumulatives dépassent la limite critique et la température moyenne de 7 jours reste en dessous de 24°C. Au moins 2 semaines consécutives de condition climatique favorable sont jugées nécessaires pour l'apparition d'une épidémie sévère (Vaibhav et al, 2013).

### **III-2.2.Hyre (1954)**

Hyre a développé un modèle de graphique mobile qui était basé sur la température moyenne pour les 5 derniers jours et le cumulé de précipitations pour les 10 derniers jours. Pour ce modèle, le mildiou est prédit dans les 7 à 14 jours après l'apparition de 10 jours favorables et consécutifs.

Un jour favorable survient lorsque la température moyenne sur 5 jours est inférieure à 25.5°C et le total des précipitations pour la période de 10 jours est inférieure à 30,0 mm.

Les jours où la température minimale descend en dessous de 7,20°C sont considérés comme défavorables au développement du mildiou. Ce modèle a été largement évalué et mis en œuvre par des producteurs du nord des États-Unis. Ce concept de graphe mobile est hautement applicable pour la plupart des régions, y compris les régions subtropicales (UC.IPM, 2014).

### **III-2.3.Période de Smith (1956)**

Selon Smith, deux jours consécutifs avec une température minimale de 10°C et 10 heures d'humidité relative supérieure à 90% le premier jour et 11 heures d'humidité relative supérieure à 90% le deuxième jour est une période Smith. Si les critères pour le premier jour sont remplis et que le deuxième jour atteint 10 heures seulement d'humidité relative supérieure à 90%, cela indique que 90% de la période Smith ou Near Smith.

Le modèle indique les périodes à très haut risque de cette maladie. Il s'agit d'un modèle empirique montrant de très bons résultats au Royaume-Uni où il est également utilisé comme pronostic négatif. Tant qu'il fait froid pendant 2 jours humides avec une température toujours supérieure à 10°C, aucun traitement n'est nécessaire (Smith, 1956).

### **III-2.4. CRITERE D'HUTTON (2017) :**

Ce modèle vient de remplacer la Période de Smith au Royaume-Uni à partir de 2017. Il recommande un traitement si les conditions ci-dessous sont remplies durant deux jours consécutifs (Dancey et al, 2017) :

- Température minimum est supérieure à 10°C.
- Humidité relative supérieure à 90 % pendant 6 h.

Ce modèle a réduit l'exigence du nombre d'heure d'humidité relative consécutive jusqu'à 6 heures, ceci rend le modèle plus sensible au période critique et recommande plus de traitement par rapport au modèle de Période de Smith.

### **III-2.5. Modèle de valeur de sévérité (1962) :**

Wallin (1962) a développé un système de prévision pour prédire la première apparition et la propagation ultérieure du mildiou basé sur l'humidité relative (HR) et la température.

Ce système principalement basé sur l'accumulation saisonnière de « valeur de sévérité ». Les valeurs de sévérité sont arbitrairement attribuées à une relation spécifique entre les durées d'HR supérieures à 90% et la température moyenne pendant ces périodes. La première apparition de mildiou est prévue entre 7 et 14 jours après l'accumulation de 18-20 valeurs de sévérité à partir de l'émergence de la culture.

Ce modèle a été largement évalué dans le monde entier et a été mis en œuvre par les producteurs aux Etats-Unis et certains autres des pays. Cette méthode est similaire à la règle de Beaumont, sauf que plus de 75% des heures consécutives sont utilisées lorsque la température est comprise entre 10 et 27°C. Le critère d'humidité relative élevé du modèle de sévérité de Wallin est toutefois similaire à celui de Smith (1956). (Vaibhav et al, 2013).

### **III-2.6. Modèle de Prognose (Négative Pronostic 1966) :**

Un pronostic négatif signifie ne pas pulvériser tant que l'agent pathogène est absent sur le terrain. Il utilise la température, l'humidité des feuilles ou une humidité relative élevée et la pluie pour évaluer la propagation du pathogène dans le champ de pomme de terre. Il a été utilisé pour prédire l'application du premier traitement prophylactique en Allemagne.

Une valeur comprise entre 0 et 400 indique la propagation de *P. infestans* sur le terrain. Cette valeur augmente si la température de l'air est comprise entre 15°C et 20°C, si l'humidité relative est supérieure à 70%. Il augmente toujours plus rapidement si l'humidité relative est supérieure à 90% et qu'il y a des précipitations ou s'il y a de l'humidité des feuilles pendant plus de 4 heures. Si cette situation dure plus de 10 heures, l'augmentation est plus élevée. Alors que le modèle définit le début du calcul avec l'émergence de la pomme de terre dans le champ spécifique.

Schrödter et Ullrich définissent une valeur de 150 pour correspondre à une incidence de la maladie dans le domaine de 0,1%. Une valeur de 250 correspond à une incidence de la maladie de 1%. Ils suggèrent qu'après un an avec une faible pression de mildiou dans la zone de production, aucune pulvérisation n'est nécessaire avant qu'une valeur de 250 ne soit atteinte. Si une quantité plus élevée d'inoculum doit être supposée, les pulvérisations devraient commencer à 150 (Ullrich, 1966).

**Tableau 4.** valeurs de risqué du mildiou (Ullrich, 1966)

<b>Facteur de Multiplication (r)</b>	<b>Nombre d'heures de températures moyennes horaires dans cette plage (h), ou d'autres conditions à remplir</b>	<b>Exigence d'HR ou de Précipitation, ou d'autres conditions à remplir</b>
0.899	10.0 - 11.9	comptez que les heures qui coexistent avec 4 heures consécutives ou plus d'HR > = 90% ou pluie > = 0,1 mm / h
0.4118	14.0 - 15.9	
0.5336	16.0 - 17.9	
0.8816	18.0 - 19.9	
1.0498	20.0 - 21.9	
0.5858	22.0 - 23.9	
0.3924	10.0 - 11.9	comptez que les heures qui coexistent avec 10 heures consécutives ou plus d'HR > = 90% ou pluie > = 0,1 mm / h
0.0702	14.0 - 15.9	
0.1278	16.0 - 17.9	
0.9108	18.0 - 19.9	
1.4706	20.0 - 21.9	
0.855	22.0 - 23.9	
0.1639	15.0 - 19.9	Ne considérez pas l'HR ou pluie, ajoutez 7,5479 au produit de r x h
0.0468	Nombre d'heures avec HR moyenne <70%	Soustraire 7.8624 du produit de r x h

### III-2.7. Blitecast (1975)

Contrairement aux systèmes précédents, BLITECAST (Krause, R.A. et al ; 1975) tente de ne pas conseiller uniquement la date de la première pulvérisation, mais aussi le calendrier des traitements ultérieurs. BLITECAST est une version informatisée intégrée des modèles Hyre et Wallin.

La première partie du programme prévoit l'apparition initiale du mildiou de 7 à 14 jours après la première accumulation de 10 jours de pluie favorables selon les critères de Hyre, ou l'accumulation de 18 valeurs de sévérités selon le modèle de Wallin.

La deuxième partie du programme recommande des pulvérisations de fongicides en fonction du nombre de jours de pluie favorables et des valeurs de sévérité accumulées au cours des sept jours précédents.

L'accumulation de jours de pluie favorables et de valeurs de sévérité commence lorsque des rangées vertes distinctes sont visibles dans le champ de pomme de terre. La première pulvérisation est recommandée quand la première prévision du mildiou est donnée. Des pulvérisations ultérieures sont recommandées selon une matrice ajustable qui corrèle les jours favorables à la pluie avec les valeurs de sévérité.

Les données requises pour ce système sont :

- Les températures quotidiennes maximales et minimales.
- Le nombre d'heures lorsque l'humidité relative est supérieure ou égale à 90 %.
- La température maximale et minimale pendant la période où l'humidité relative était de 90 % et au-dessus.
- Les précipitations quotidiennes au plus proche de 1 mm

Quatre recommandations sont émises : pas de pulvérisation, avertissement du mildiou, un programme avec un intervalle de pulvérisation de 7 jours, un intervalle de pulvérisation de 5 jours (recommandé lors d'un climat favorable du mildiou).

**Tableau 5 :** Matrice ajustable utilisée pour relier les valeurs de sévérité et les jours favorables de pluie et la génération des recommandations de pulvérisation pour Blitecast (Krause, R.A. et al ; 1975).

Nombre total de jours favorables de pluie durant les 7 derniers jours	Valeurs de sévérité au cours des sept derniers jours					
	<3	3	4	5	6	>6
	Numéro de message					
<5	-1	-1	0	1	1	2
>4	-1	0	1	2	2	2

la signification des numéros de message est:  
 -1 = Aucun pulvérisation n'est recommandé.  
 0 = Un avertissement de mildiou (traiter ou examiner les conditions dans les 2 à 3 jours. Si la prévision à court terme est pour un climat favorable au mildiou, suivre un programme de pulvérisation de 7 jours)  
 1 = Un programme de pulvérisation de 7 jours est recommandé.  
 2 = Un programme de pulvérisation de 5 jours est recommandé.  
 Remarque: certains chercheurs ont conseillé de revenir à un programme de pulvérisation régulier à 1% de sévérité de la maladie.

Les recommandations sont fournies par téléphone et sont terminés dans les 3 minutes à partir des données fournis. FOHNER (Fohner, Fry, White ; 1984) à l'aide d'un modèle de simulation par ordinateur a révélé que Blitecast n'était pas plus efficace dans les pulvérisations avec un programme d'un intervalle standard de 7 jours. Cependant, il est suggéré que des améliorations pourraient être apportées à l'efficacité de la planification avec des fongicides efficaces et des prévisions météorologiques précises.

### III-2.8.NegFry (1983) :

Ce modèle de prévision a été dérivé de deux modèles de simulation :

Le 1<sup>er</sup> modèle : il décrit les effets de climat sur la distribution et la quantité de fongicide. Le calcul des unités de fongicide est basé sur la pluviométrie quotidienne en millimètre et le temps depuis la dernière application de fongicide (**Tableau 6**).

Le 2<sup>ème</sup> modèle : il décrit les effets de résistance de l'hôte et de climat sur le développement de *Phytophthora infestans* sur la pomme de terre (**Tableau 7**). Des unités du mildiou sont calculées, selon le nombre d'heures consécutives de l'humidité relative supérieur ou égal à 90 %, et la température moyenne répartie dans six intervalles (< 3, 3-7, 8-12, 13-22, 23-27 et > 27°C).

Le model nécessite les données suivantes :

- Pluviométries quotidiennes (millimètre), température moyenne horaire et humidité relative.
- Nombre d'heures consécutives avec l'humidité relative supérieur ou égal à 90%,
- Résistance de cultivar (susceptible, modérément susceptible ou modérément résistante).
- Temps (jours) depuis la dernière application de fongicide (Fry et al, 1983 ; Bruhn et al, 1981).

**Tableau 6 :** Unités de fongicide (pour le chlorothalonil, nom commercial : Bravo) pour la prévision du mildiou décrivant la dégradation de fongicide déterminé par la quantité de pluviométrie et le nombre de jours depuis la dernière application de fongicide (Fry et al, 1983 ; Bruhn et al, 1981).

Temps (jours) depuis la dernière pulvérisation	Nombre d'unité de fongicide dégradé en fonction de la pluviométrie quotidienne (millimètre)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	<1	...	...	1-1,4	1,5-3,4	3,5-6	>6
2	<1	...	1-1,4	1,5-4,4	4,5-8	>8	...
3	<1	...	1-2,4	2,5-5	>5	...	...
4-5	<1	...	1-2,4	2,5-8	>8	...	...
6-9	<1	...	1-4	>4	...	...	...
10-14	<1	1-1,4	1,5-8	>8	...	...	...
>14	<1	1-8	>8	...	...	...	...

**Tableau 7 :** Unités de valeur à risque (Fry et al 1983).

Température moyenne (°C)	Résistance de cultivar	Heures consécutives d'humidité relative $\geq 90\%$ dont devrait avoir comme conséquence des unités de mildiou							
		0	1	2	3	4	5	6	7
>27	S /b	24							
	MS /c	24							
	MR /d	24							
23-27	S	6	07-09	10-12	13-15	16-18	19-24		
	MS	9	10-18	19-24					
	MR	15	16-24						
13-22	S	6					07-09	10-12	13-
	MS	6	7	8	9	10	11-12	13-24	
	MR	6	7	8	9	10-12	13-24		
08-12	S	6	7	08-09	10	11-12	13-15	16-24	
	MS	6	07-09	10-12	13-15	16-18	19-24		
	MR	9	10-12	13-15	16-24				
03-7	S	9	10-12	13-15	16-18	19-24			
	MS	12	13-24						
	MR	18	19-24						
<3	S	24							
	MS	24							
	MR	24							
/a Humidité relative élevée $\geq 90\%$ . Période d'estimation des unités du mildiou 24 H									
/b S = cultivars susceptibles.									
/c MS = cultivars modérément susceptibles.									
/d MR = cultivars modérément résistants									

La décision concernant l'époque d'application des fongicides se base sur les unités cumulatives du mildiou ou les unités de fongicide appliqués depuis le dernier traitement (**Tableau 8**).

**Tableau 8:** Règles de décision pour la simulation de prévision (Fry et al, 1983).

<b>Le fongicide devrait être appliqué si le fongicide n'a pas été appliqué dans les 5 jours</b>	<b>Résistance des cultivars</b>		
	<b>Susceptible</b>	<b>modéré</b>	<b>Résistant</b>
Et les unités cumulatives de mildiou depuis le dernier traitement excèdent :	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>Ou</b> les unités cumulatives de fongicide depuis le dernier traitement excèdent :	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>

### **III-2.9.Sparks (1983)**

Le modèle de SPARKS a été développé suite à l'attaque sévère de mildiou de l'année 1983, lorsque la majorité des épidémies du mildiou se sont développées dans les régions Est du Royaume-Uni malgré l'absence d'avertissement par le système de Smith. Sparks a essayé de corriger les erreurs commises dans les systèmes de Bourke et Smith en tenant compte la baisse des températures et le développement des générations distinctes du mildiou.

Le système de Sparks a été informatisé et les recommandations ont été émises par un seul chiffre allant de 0 (aucun risque) à 3 (de haut risque). Sparks a également tenu compte de couvert végétal, ouvert ou fermé, de sorte que l'ajustement de risque en fonction de la croissance de culture pourrait être fait au début de la saison.

Le système n'a jamais été officiellement publié et il a été considérée comme trop complexe par les services du Développement Agricole (ADAS) d'Angleterre et au Pays de Galles. Keane (Keane, T ; 1995) a comparé le modèle de Sparks avec celui de BOURKE et a conclu que le modèle du couvert végétal a largement surestimé le risque du mildiou et donc n'était pratiquement pas utile sous des conditions irlandaises.

### **III- 2.10. Sharma (2000) :**

Sharma a conclu que le développement du mildiou dans la région de Jalandhar (Inde), était positivement corrélé avec l'humidité relative maximale, les précipitations, la rosée et les jours nuageux, tandis que négativement corrélé avec la température minimale. Une température de l'air inférieure à 26°C et une humidité relative supérieure à 85% ont également favorisé l'apparition du mildiou (Vaibhav et al, 2013).

### **III- 2.11.Shtienberg (2006) :**

Henshall et al (2006) ont développé un nouveau modèle, à savoir le modèle Shtienberg pour le risque de mildiou, dans lequel ils ont combiné l'indice d'inoculum avec l'indice d'infection pour produire un indice de risque de mildiou (0-3) correspondant à un risque nul, léger, modéré et sévère de mildiou.

En plus des modèles empiriques citées ci-dessus, il existe d'autres modèles : modèle avec dynamique spatiale (Minogue et Fry, 1983), modèle mathématique (Johnson et al, 1996).

### **III-3. Outil d'aide à la décision (OAD) :**

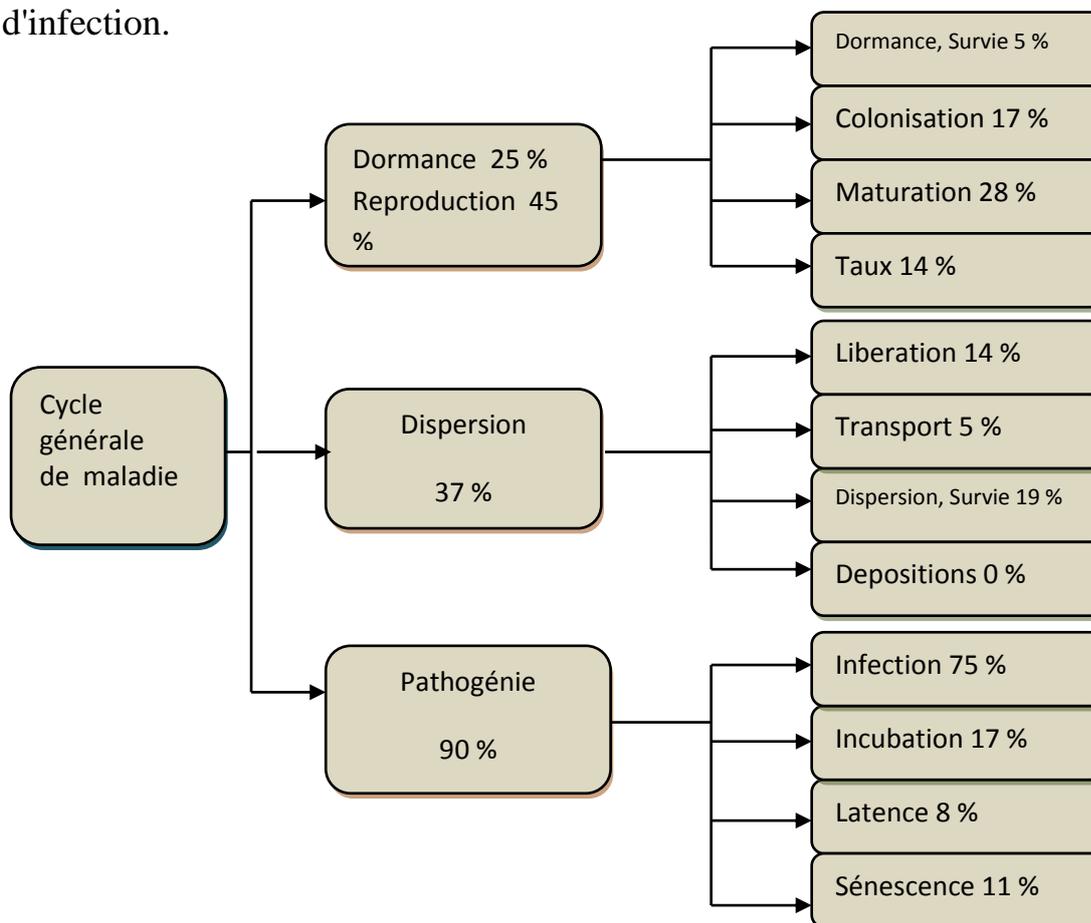
Grace aux informations qu'ils intègrent, les outils d'aide à la décision (Décision Support System) aident les agricultures à mettre en œuvre des programmes des traitements efficaces. Les OAD permettent aux agricultures de renforcer l'efficacité des méthodes de contrôle sans en augmenter les risques.

En d'autres mots, les OAD ne cherchent pas systématiquement à réduire le nombre des traitements mais à contrôler le mildiou de façon efficace (avec une marge de sécurité suffisamment large).

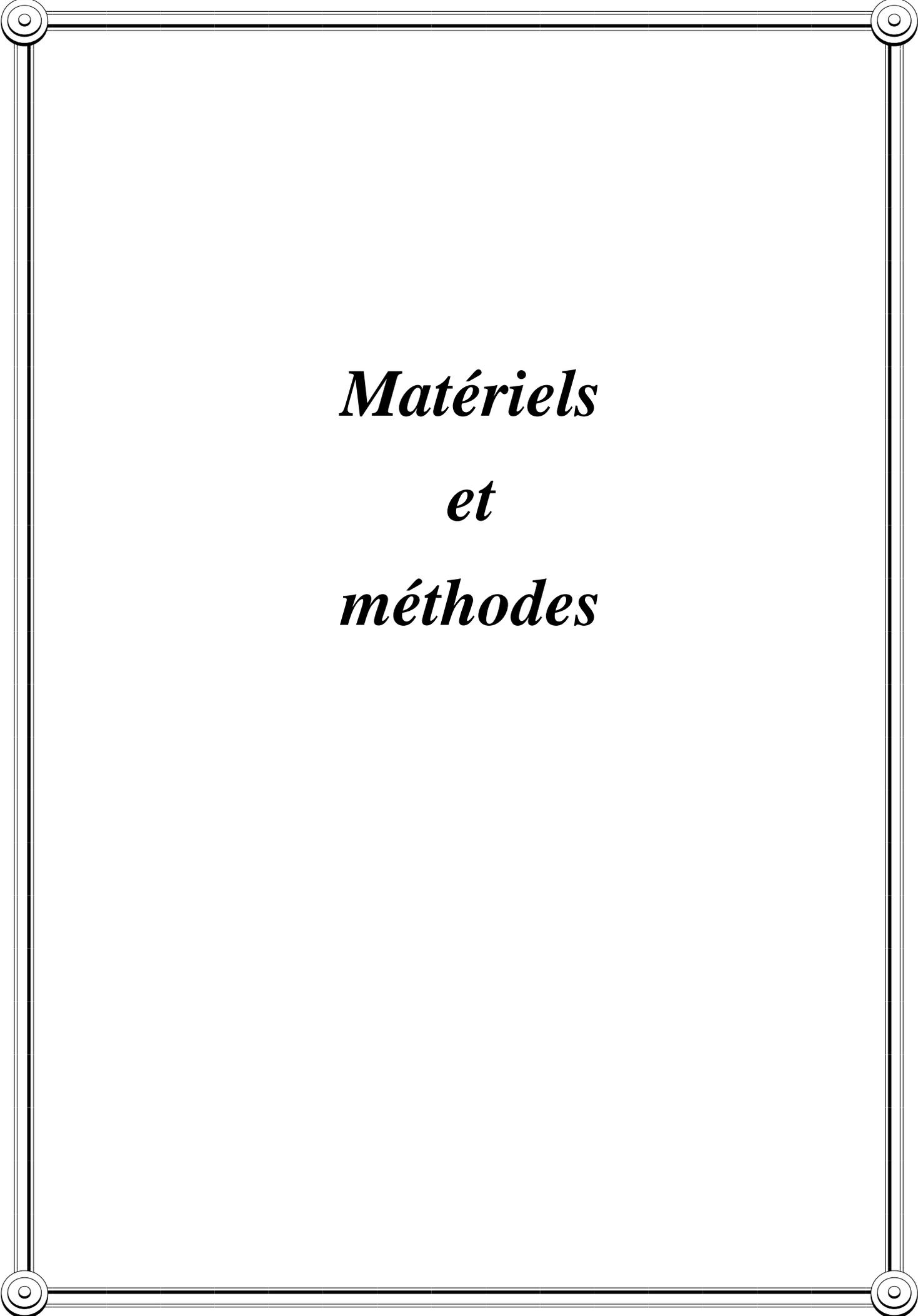
Les OAD peuvent également être utilisés pour justifier l'application de fongicides et comme un outil de gestion dans les situations où le nombre des traitements (ou le produit utilisé) est limité par la législation en vigueur.

### III-3.1. Stades du cycle de la maladie considéré dans les modèles de prévisions :

DE WOLF et ISARD (2007) ont passé en revue 36 modèles de prévision édités de 1996 jusqu'en 2006 qui emploient l'approche de cycle de la maladie et ont identifié quelles sont les étapes du cycle de pathogène incorporées dans ces modèles, la **Figure (8)** montre les résultats de leur analyse. Il est évident que presque tous les modèles intègrent de façon ou d'autre la pathogénie et le processus d'infection.



**Figure 8 :** Stades du cycle de la maladie considéré dans des modèles de prévisions édités de 1994-2006. Le pourcentage représente entre parenthèses le nombre de modèles qui incluent ce stade dans les simulations.



*Matériels*  
*et*  
*méthodes*

#### IV.1 Présentation de la région d'étude

La wilaya d'Ain defla produit environ plus d'un tiers de la production nationale de la pomme de terre. Selon les statistiques de la Chambre d'agriculture de Aïn Defla, les superficies sont passées de 3 000 hectares à plus de 16 000 hectares. cette culture est pratiquée deux fois par an, la campagne de saison à partir du mois de decembre à fin janvier et la campagne d'arrière saison à la mi-juillet, et produit annuellement, entre 300 000 tonnes et 350 000 tonnes de pomme de terre de consommation soit le tiers de la consommation nationale et 50 000 tonnes de pomme de terre de semences soit 40% de la semence nationale. (DSA, Ain defla 2020)

Sur les 122 variétés homologuées par la tutelle, une dizaine seulement sont utilisées par les agriculteurs de Ain Defla à savoir la variété Spunta (36%), Désirée (24%) , la Kondor (12%), l'Atlas (12%), l'Arinda (5%), Bartina (3%) et enfin pour le reste les variétés Obelix, Buren, Agria et Dafler. (DSA, Ain defla 2020)

Pour la campagne en cours, grâce aux conditions climatiques favorables, plus de 16 000 hectares ont été plantés, ce qui prévoit une production de près de 4 000 000 de quintaux. Il est à noter que cette culture qui se pratiquait sur les terres fertiles de la vallée du Cheliff, dans les plaines d'El Amra, El Abadia, Sidi Lakhdar, Arrib et El Khemis, elle s'est répandue sur d'autres communes comme Djendel, Aïn Soltane, Mekhatria, Bourached et Djelida. (DSA, Ain defla 2020)

##### IV.1.1. Localisation de la région d'étude :

Nous avons choisi les régions de djendel et Ain defla pour mener notre étude. Ain defla se trouve au centre, tandis que la region de Djendel se localise dans l'ouest de la wilaya.



Figure 9 : localisation de la région d'étude



*Parcelle 1*



*Parcelle 2*

Figure 10 : les parcelles de Ain Defla



*Parcelle 1*



*Parcelle 2*

Figure 11 : les parcelles de Djendel

#### **IV.2 le climat de wilaya d'Ain defla**

La wilaya d'AIN-DEFLA présente un climat méditerranéen semi-aride avec un caractère de continentalité très marqué et un écart de température de 20°C entre les températures du mois de janvier et celle d'août. L'été s'étend sur 5 à 6 mois environ avec des masses d'air chaud à partir du mois de mai. La pluviométrie reste variable et atteint 500 à 600 mm/an. Une série d'étages climatiques qui va du sub-aride au fond de la vallée au sub-humide sur les reliefs.

### IV.3. Evaluation de la maladie

Le suivi épidémiologique du mildiou de la pomme de terre a été conduit durant la culture de saison à partir de mois de mars. Nous avons choisi deux champs, cultivées par la variété Spunta, dans chaque région. Dès l'apparition des symptômes de mildiou, la surveillance est limitée à la première parcelle infecté. La sévérité d'infection a été estimée selon la clé de Cook et al (tableau 10). Ces données ont été utilisées pour calculer la Courbe des Aire de progression de la maladie (AUDPC : Area Under the Disease Progress Curve) par la formule suivante (Cooke et al, 2011).

$$AUDPC = \sum \left[ \left( \frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right) * (t_{i+1} - t_i) \right]$$

$X_i$  : Taux d'infection (sévérité) estimé à la date  $i$

$X_{i+1}$  : Taux d'infection estimé à la date  $i+1$

$T_{i+1}$  : nombre de jour entre la date  $i$  et  $i+1$

**Tableau 9. Les caractéristiques des parcelles étudiées**

Année	Région	Parcelle	Superficie (Ha)	Variété	Date de plantation
2020	Djendel	1	16	spunta	15/12/2019
		2	12	Kondor	10/01/2020
	Ain-Defla	1	6	Désirée	12- 25/12/2019
		2	1,20	spunta	20/12/2019

### **IV.3.1. Paramètres étudiés**

Les paramètres déterminés au cours de suivi sont :

- L'observation de la date d'apparition des premiers symptômes sur le feuillage
- La date de début de l'épidémie ; à partir de laquelle les fongicides deviennent inefficace.
- Les mesures de la sévérité des attaques : le pourcentage des tissus infectés par plant qui représente une estimation du taux de la surface infectée par rapport à la surface totale de la plante, en se référant sur la clé descriptive pour l'évaluation de mildiou de la pomme de terre, (Tableau 10)
- Type de fongicide et date d'applications.

Au niveau de chaque parcelle, dès l'apparition des premiers foyers du mildiou, l'estimation de la sévérité devient tous les sept jours.

**Tableau 10.** : Clef descriptive pour l'évaluation de mildiou de pommes de terre (Cooke et al, 2011)

Sévérité	Description
0.001%	1 lésion
0.01%	2 à 5 folioles affectées sur 10 plantes, environ 5 grandes lésions.
0.1%	Environ 5 à 10 folioles infectés/plante ou environ 2 feuilles affectées/plante
1.0%	Infection légère générale. Environ 20 lésions/plante ou 10 feuilles affecté/plante ; 1 des 20 feuilles affectées sévèrement
5.0%	Environ 100 lésions/plante ; 1 sur 10 folioles sont affectés (environ 50 folioles affectées)
25%	Presque chaque foliole est infectée mais les plantes maintiennent la forme normale et peuvent sentir le mildiou. Le champ apparaît vert bien que chaque plante soit affectée.
50%	Chaque plante est affectée et environ 50 % du surface foliaire est détruit. Le champ apparaît vert taché avec le brun.
75%	Environ 75 % du surface foliaire est détruit ; le champ ne semble ni vert ni brune.
95%	Seulement quelques feuilles saines sur les plantes, mais les tiges sont vertes
100%	Toutes les feuilles et tiges sont mortes.

#### IV.4. DÉFINITION D'UN SEUIL PLUVIOMETRIQUES CRITIQUES

L'objectif de notre étude est de définir un cumulé critique (à partir du quel le mildiou peut se développer en épidémie) de pluviométrie, à partir des données de l'étude et de l'historique d'attaque de mildiou dans cette région, pour lancer un traitement chimique.

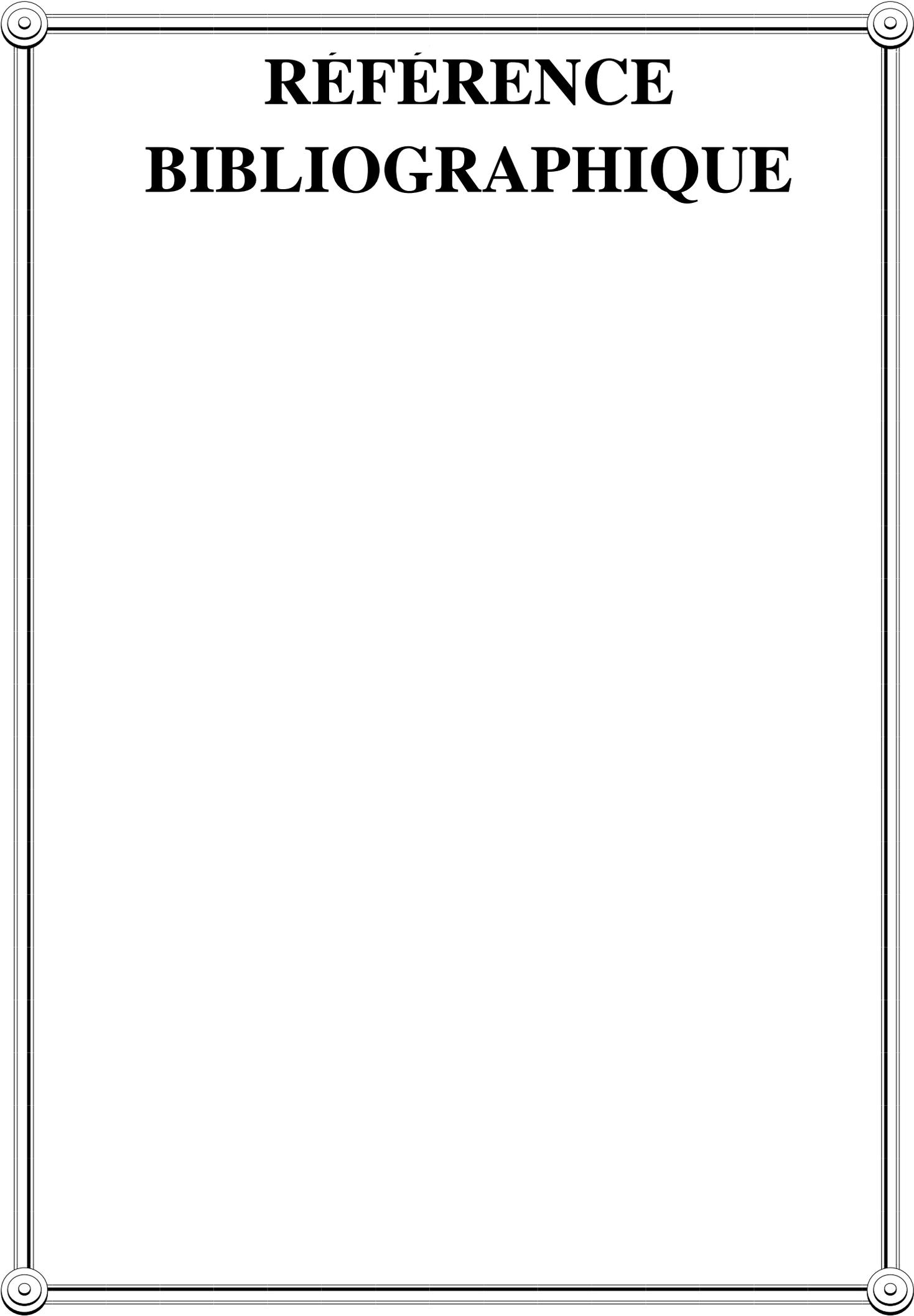
Différentes cumulé ont été enregistré avant le début des épidémies du mildiou dans la région d'étude, durant les cinq dernières années. (Tableau 11)

Tableau 11. Cumulé des pluies avant les épidémies (2013-2019)

Année	Région	Cumulé de pluie
2013	Chlef	5.3 mm
2014	Ain defla	10.2mm
2016	Ain Defla	9.1 mm
2016	Chlef	22.8 mm
2019	Ain defla	01 mm

Selon Abderrahmane et Benchabane (2017) la période favorable est définie par un temps pluvieux accompagné par des températures nocturnes supérieures à 10 °C et un ciel nuageux. Dans l'optique de ces résultats nous avons fixé les seuils pluviométriques suivants :

- 1- Un cumulé pluviométrique entre 1 mm et 5 mm
- 2- Un cumulé pluviométrique entre 5 mm et 10 mm
- 3- Un cumul pluviométrique supérieur à 10 mm



# **RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- **Abderrahmane, O., Benchabane, M., 2017.** Epidemiology and risk factors of potato late blight in Algeria. In Proceedings of sixteenth EuroBlight Workshop, 14-17 May 2017. Aarhus, Denmark. PPO Special Report No. 18: 223-226p.
  - **Alexopoulos, C.J., Mims C.W., et Blacwell M., 1996.** Introductory to Mycology. Jon Wiley and Sons, Inc. New York, USA, 154p.
  - **Andersson, B., Sandström, M., Strömberg, A., 1998.** Indications of soil borne inoculum of *Phytophthora infestans*. Potato Research 41: 305-310p.
  - **Andrivon, D., 1995.** Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. Phytopathology 85: 1053-1056p. 1
  - **Andrivon, D., 1996.** The origin of *phytophthorainfestans* populations present in Europe in the 1840s: a critical review of historical and scientific evidence. Plant pathology. 45:1028-1036p.
  - **Asakaviciute, R., Brazinskiene, V. & Razukas, A., 2013.** Late blight *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary resistance evaluation in ten Lithuanian potato cultivars. Icelandic agricultural sciences, 26: 45-48p.
  - **Avila-Adame, C., Gomez-Alpizar, L., Zismann, V., Jones, K. M., Buell, C. R. and Ristaino, J. B., 2006.** Mitochondrial genome sequences and molecular evolution of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. Curr. Genet. 49: 39-46p.
  - **Aylor, D.E., 2003.** Spread of plant disease on a continental scale: role of aerial dispersal of pathogens. Ecology 84: 1989-1997p. 1
  - **Bennani Y., 2011.** Le mildiou de la pomme de terre. Mémoire: microbiologie. Université de Farhat Abbas-Setif-, 18p.
  - **Bhattacharyya, S.K., Phadatare, S.G., Khanna, R.N., Srivastava, D.S., and Prasad, B., 1983.** Efficacy of some fungicides in controlling late blight of potato in India. Indian J. Agric. Sci., 53: 153-157p.
  - **Boccas, B., 1979.** La reproduction sexuelle chez les *Phytophthora*, ses voies et quelques unes de ses conséquences génétiques. Travaux et documents de l'O. R. S. T. O. M. 100 : 188p.
  - **Bouchet, P., Guignard, J. L., Pouchus, Y. F., et Villard, J., 2000.** Les champignons. Mycologie fondamentale et appliquée. Abrégés. Biochimie végétale. 2ème édition Masson: 274 p.
-

- **Bruhn, J.A., et Fry, W.E., 1981.** Analyse de l'épidémiologie du mildiou de la pomme de terre par modélisation de simulation. *Phytopathology* 71: 597-601p.
- **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.2
- **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. 2
- **Cohen, Y., Farkash, S., Reshit, Z., and Baider, A., 1997.** Oospore production of *Phytophthora infestans* in potato and tomato leaves. *Phytopathology* 87: 191-196p.
- **Cooke, D., Hansen, G. J., Schepers, H., Lees, A., Andrivon, D., Andrade-Piedra, J., Forbes, G., Cooke, L., Acuña, I., Fry, W.E., 2017.** Potato late blight management in four continents: Similarities, Differences and Future Opportunities and Challenges for network activities. Available at: [Http://www.euroblight.net](http://www.euroblight.net)
- **Cooke, DEL., Cano, LM., Raffaele, S., Bain, RA., Cooke, LR., Etherington, GJ., Deahl, KL., Farrer, RA., Gilroy, EM., Goss, EM., Grünwald, NK., Hein, I., MacLean, D., McNicol, JW., Randall, E., Oliva, RF., Pel, MA., Shaw, DS., Squires, JN., Taylor, MC., Vleeshouwers, VGAA., Birch, PRJ., Lees, AK., Kamoun, S., 2012.** Genome analyses of an aggressive and invasive lineage of the Irish potato famine. *PLoS Pathogens* 8: e1002940.
- **DANCEY SR., SKELSEY P & COOKE DE. (2017).** The Hutton Criteria: a classification tool for identifying high risk periods for potato late blight disease development in Great Britain. *EuroBlight Workshop*. p. 53.
- **Danies, G., Small, I.M., Myers, K., Childers, R., Fry, W.E., 2013.** Phenotypic characterization of recent clonal lineages of *Phytophthora infestans* in the United States. *Plant Disease* 97: 873-881p. 2
- **Dewelle, G.A., 1964.** Forecasting crop infection by the potato blight fungus. A fundamental approach to the ecology of a parasite–host relationship. *Koninklijk Ned. Meteorol. Inst., Mededelingen En Verhandelungen*, 82: 1-144p.
- **Dominique, B., Laterrot, H., Marchoux, G. et Candresse, T., 2009.** Les maladies de la tomate : identifier, connaître et maîtriser. Ed: Quae , Paris. 690 p.

- **Drenth, A., Janssen, E. M., Govers, F., 1995.** Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology* 44: 86-94p.
- **Drenth, A., Janssen, E.M., Govers F., 1995.** Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant Pathology* 44: 86-94p.3
- **Duvauchelle, S., and Andrivon, D., 1996.** Le mildiou et son agent *phytophthora infestans* (Mont.)de Bary. In P. Rousselle, Y. Robert, & J. C. Crosnier (Eds.), la pomme de terre INRA Éditions. Paris. PP. 281-291.
- **Duvauchelle, S., Andrivon, D., 1996.** Maladies à distribution géographique mondiale : Le mildiou et son agent *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. La pomme de terre. Rousselle P., Robert Y., Croisnier J. C. ed. INRA et ITCF. France 607 p. 3
- **FAOSTAT, 2007.** Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Agricultural Statistics. Available at :<http://fantasy.Faso.org/>.
- **FAOSTAT, 2020.** Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Agricultural Statistics. Available at :<http://fantasy.Faso.org/>.
- **Fife, J &Nokes, S., 2002.** Evaluation of the effect ofrainall intensity and duration on the persistence of chlorothalonil on processing tomato foliage. *Crop Protection*; 21. P.733-40p.
- **Fohner, G.R., Fry, W.E., et White, G.B., 1984.**La simulation informatique soulève la question du moment choisi pour la fréquence d'application du fongicide protecteur selon les prévisions du mildiou de la pomme de terre. *Phytopathology* 74: 1145-1147p.
- **Fry, W., 2008.** *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology* 9: 385-402p.
- **Fry, W.E., Apple, A.E., et Bruhn, J.A., 1983.** Évaluation des prévisions du mildiou de la pomme de terre modifiées pour intégrer la résistance de l'hôte et l'altération fongicide. *Phytopathology* 73: 1054-1059p.
- **Gallegly, M. E., et Hong, C., 2008.***Phytophthora*: identifying species by morphology and DNA Fingerprints. *The American phytopathological Society*. St. Paul, Minnesota USA. 157 p.
- **Gaucher, D., Duvauchelle, S., and Andrivon, D., 1998.** Mildiou de la pomme de terre - le champignon évolué, la lutte aussi! *Perspectives agricoles*. 236:1-20p.
- **Gaucher, D., Duvauchelle, S., Andrivon, D., 1998.** Mildiou de la pomme de terre-le champignon évolue, la lutte aussi. *Perspectives Agricoles* 236: 1-20p. 3

- **Gisi, U., Cohen, Y., 1996.** Resistance to phenylamide fungicides: a case study with *Phytophthora infestans* involving mating type and race structure. *Phytopathology* 34: 549–572p.
- **Glais, I., Montarry, J., Corbière, R., Pasco, C., Marquer, B., Magalon, H., Andrivon, D., 2014.** Long distance gene flow outweighs a century of local selection and prevents local adaptation in the Irish famine pathogen *Phytophthora infestans*. *Evolutionary Applications*, 7, 442–452p. 4
- **Gómez-Alpizar, L., Carbone, I., and Ristaino, J. B., 2007.** An Andean origin of *phytophthora infestans* inferred from mitochondrial and nuclear gene genealogies. *PNAS*. 104 (9):3306-3311P.
- **Grünwald, N., and Flier, W. G., 2005.** The biology of *phytophthora infestans* at its center of origin. *Annual Review of phytopathology*. 43:10.1-10.20p.
- **Hackett, J.D., Yoon, H.S., Reyes-Prieto, S.Li.A.,Rummele, S.E., Bhattacharya, D., 2007.** Phylogenomic analysis supports the monophyly of cryptophytes and haptophytes
- **Harper, J.T., Waanders, E., Keeling, P.J., 2005.** On the monophyly of chromalveolates using a six-protein phylogeny of eukaryotes. In *J SystEvolMicrobiol*. 55 (Pt 1): 487-496p.
- **Harrison, J.G., 1992.** Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage. *Plant Pathology* 41: 384-416p.
- **Harrison, J.G., 1992.** Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage -a review. *Plant Pathol.*, 41: 384-416p.
- <http://agro.au.dk/forskning/international-platform/euroblight/control-strategies/late-blight-fungicide-table/>
- <http://ipm.ucanr.edu/DISEASE/DATABASE/potatolateblight.html>
- <https://metos.at/ru/disease-models-potato/>
- **James, W.C., Shih, C.L., Hosdson, W.N., Callbeck, C.L., 1972.** The quantitative relationship between late blight of potato and loss in tuber yield. *Phytopathology*, 62,92-96p.
- **Johnson, D.A., Aldredge, J.R., and Vakoch, D.L., 1996.** Potato late blight forecasting models for the semi-arid environment of South-Central Washington. *Phytopathology*, 86: 480-484p.4
- **Johnson, S., Acemoglu, Daron., James, A., and Robinson., 2000.** The Colonial Origins Of Comparative Development: An Empirical Investigation, NBER Working Paper, 7771p.

- **Judelson, H.S., Blanco, F.A., 2005.** The spores of Phytophthora: weapons of the plant destroyer. *Nature Reviews Microbiology* 3 : 47-58p. 5
- **Keane, T., 1995.** Potato blight warning practice in Ireland. In: *Phytophthora 150.* (Eds Dowley, L.W et al) pp 191-200, Boole Press Ltd. Dublin.5
- **Krause, R.A., Massie, L.B., et Hyre, R.A., 1975.** BLITECAST, une prévision informatisée du mildiou de la pomme de terre. *Plant Disease Reporter* 59: 95-98p.
- **Krause, R.A., Massie, L.B., Hyre, R.A., 1975.** Blightcast, a computerised forecast of potato late blight. *Plant Disease* 59: 95-98p.
- **Kroon, L.P.N.M., Bakker, F.T., van den Bosh, G.B.M., Bonants, P.J.M., Flier, W.G., 2004.** Phylogenetic analysis of *Phytophthora* species based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Fungal Genet. Biol.* 41: 766-782p.
- **Lebreton, L., 1998.** Structure et evolution des populations françaises de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, agent du mildiou de la pomme de terre et de la tomate. Thèse Sciences Biologiques. Université de Rennes I, 174 p.
- **Lepoivre, P., 2003.** Phytopathologie. Bases moléculaires et biologique des pathosystèmes et fondements des stratégies de luttés. De Boeck. Les presses agronomiques de Gembloux. Bruxelles: 427p.
- **Li, Y., Van Der Lee, TAJ., Evenhuis, A., Van Den Bosch, GBM., Van Bekkum, PJ., Förch, MG., Van Gent-Pelzer, MPE., Van Raaij, HMG., Jacobsen, E., Huang, SW., Govers, F., Vleeshouwers, VGAA., Kessel, GJT., 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: 1529-1540p.5
- **Liebeskind, A., 1969.** False-mildew (*Phytophthora infestans*) as an allergenic factor. *Allergy*, 24(4-5): 362-366p.
- **Martens, C., Vandepoele, K., Van de Peer, Y., 2008.** Whole-genome analysis reveals molecular innovations and evolutionary transitions in Chromalveolate species. *Proc Natl Acad Sci U.S.A* 105: 3427-3432p.
- **Minogue, K.P., and Fry, W.E., 1983.** Models for the spreads of disease: Some experimental results. *Phytopathology*, 73: 1173-1176p.5
- **Montarry, J., Andrivon, D., Glais, I., Mialdea, G., Corbière, R., Delmotte, F., 2010(b)** Microsatellite markers reveal two genetic groups in the French population of the invasive plant pathogen *Phytophthora infestans*. *Molecular Ecology* 19: 1965-1977p.5

- **Neely, D., 1970.** Persistence of foliar protective fungicides. *Phytopathology* 60: 1583-1586p.
- **Pasc, 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. 6
- **Rekad, F.Z., 2018.** Caractérisation phénotypique et génotypique d'isolats de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, agent causal du mildiou de la pomme de terre et de la tomate dans la région du nord-ouest algérien. *Phytophthora infestans* 9p.
- **Robertson, N.F., 1991.** The challenge of *Phytophthora infestans*. In: *Advances in Plant Pathology*, vol. 7 - *Phytophthora infestans*, the Cause of Late Blight of Potato, Ingram DS, Williams PH, eds., pp. 1-30. Academic Press, Londres. 6
- **Rotem, J., Cohen, Y., and Putler, J., 1971.** Relativity of limiting and optimum inoculum loads, wetting duration and temperature for infection by *Phytophthora infestans*. *Phytopathology*, 61: 275-278p.
- **Singh, R.S., 2007.** *Plant Diseases*. 8th ed., Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi. pp. 169-170o.
- **Sjöholm, L., Andersson, B., Högberg, N., Widmark, A.K., Yuen, J., 2013.** Genotypic diversity and migration patterns of *Phytophthora infestans* in the Nordic countries. *Fungal Biology* 117, 722–730p. 6
- **Thurston, H. D., etSchltz, O., 1981.** Late blight in compendium in potato disease. Hooker editions. APS Press Michigan. USA. 40-42 p.
- **Tria, M., chehat, F., 2013.** Typologie des producteurs de pomme de terre dans la région d'AinDefla. *Les cahiers du CREAD* 103: 136P.
- **Turkensteen, I., J., 1978.** *Phytophthora infestans*: tirée news hosts an specialized form causing foliar blight of *Solanum muricatum* in peru. *Plant Disease Reporter*: 62, 829P.
- **Ullrich, J., ET Schrodter, H., 1966.** Das problem der vorhersag des aufretens der kartoffelkrautfaule (*phytophthorainfestans*) und die möglichkeit seiner losungdurcheinenegativprognose. *NachrichtenblattDt .Pflanzenschutzdienst* (Braunschweig.) 18: 33-40p.

- **Vaibhav, K., Singh\*, Shailbala and V.S. Pundhir1., 2013.** FORECASTING MODELS FOR POTATO LATE BLIGHT MANAGEMENT - A REVIEW 7:88,90p.
- **Wallin, J.R., 1953.** The production and survival of sporangia of *Phytophthora infestans* on tomato and potato plants in the field. *Phytopathology*, 43: 505-508p.
- **Yuen, J.E., Andersson, B., 2013.** What is the evidence for sexual reproduction of *Phytophthora* : in Europe? *Plant Pathology* 62: 485-491p. 7
- **Zentmyer, G.A., 1983.** The world of *Phytophthora*, its biology, taxonomy, ecology and pathology (Ed. by Erwin D.C., Bartnicki-Garcia, S., Tsao P.H.). American Phytopathological Society, St. Paul, USA pp. 1-8p.