

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB. BLIDA 1**

**Faculté des sciences de la nature et de la vie**

**THESE DE DOCTORAT**

En Agronomie.  
Spécialité : Pathologie végétale.

LE MILDIU DE LA POMME DE TERRE: FACTEURS EPIDEMIOLOGIQUES,  
CARACTERISATION DES POPULATIONS DE *PHYTOPHTHORA INFESTANS* ET  
GESTION DURABLE DE LA STRATEGIE DE CONTROLE PAR MODELISATION  
DES RISQUES.

Par

**Omar ABDERRAHMANE.**

Devant le jury composé de :

M <sup>r</sup>	S.A. Snoussi	Professeur U. Blida 1	Président
M <sup>r</sup>	M. Lazali	Professeur UDB Khemis Miliana	Examineur
M <sup>r</sup>	O. Aoun	MCA U. M'Sila	Examineur
M <sup>r</sup>	M. Benchabane	Professeur U. Blida 1	Directeur de thèse

Blida, Juin, 2021.

## REMERCIEMENTS

L'expression de mes vifs remerciements va à mon promoteur Monsieur le Pr. BENCHABANE Messaoud, professeur en pathologie végétale au sein du département des sciences agronomiques de l'université Blida 1.

Mes remerciements les plus vifs vont à monsieur SNOUSSI Sid Ahmed, Monsieur LAZALI Mohamed et monsieur AOUN Omar, qui ont généreusement donné de leurs temps pour évaluer ce modeste travail, que j'espère toutefois être digne de leurs rangs et à la hauteur de leurs exigences.

Je tiens à remercier les directeurs et les travailleurs des stations régionales de protection des végétaux de Chlef et Mostaganem qui m'ont beaucoup aidé, sans oublier les agriculteurs de Ain Defla, Chlef et Mostaganem qui étaient sympathiques et très collaboratifs.

Un grand merci à Rafik et Djamila pour leurs soutiens et encouragements.

## RESUME

L'étude du mildiou de la pomme de terre dans les conditions de culture de nord ouest algérien (Ain Defla, Chlef et Mostaganem), durant la culture de saison (2013, 2014 et 2016), a été effectuée pour comprendre les facteurs de risque épidémiologique et réussir la gestion de cette maladie par l'exploitation des données collectées et l'application de deux modèles prévisionnels ; la Période de Smith et NegFry.

Les résultats de la surveillance du mildiou ont montré que les premiers symptômes de la maladie se manifestent au mois de février et mars. La plupart des épidémies du mildiou se sont développées durant le mois d'avril, après une période pluvieuse accompagnée par des températures nocturnes supérieures à 10 °C et un ciel nuageux.

Les résultats de l'application des modèles prévisionnels (NegFry et Période de Smith) sont relativement acceptables par rapport aux périodes critiques précédant les épidémies, néanmoins sont imprécis par rapport aux premiers symptômes. Le modèle de NegFry a montré une bonne sensibilité à prédire les épidémies en donnant des avertissements entre 04 et 09 jours avant l'occurrence de la maladie. L'application d'un fongicide approprié durant cette période pourrait retarder ou éviter le développement de l'épidémie.

La période à risque climatique la plus courte précédant les épidémies, a duré 12 heures d'humidité relative supérieure à 90%, allongée par 09 heures de pluie et accompagnée par une température minimale de 13.8 °C. Les conditions climatiques de cette période constituent la base de la conception d'un modèle prévisionnel pour le nord ouest algérien.

**Mots clés :** Fongicide, Pomme de terre, Mildiou, Conditions climatiques, Systèmes d'avertissement.

## ABSTRACT

The study of potato late blight under the growing conditions of northwestern Algeria (Ain Defla, Chlef and Mostaganem), during seasonal cultivation (2013, 2014 and 2016), was carried out to understand the epidemiological risk factors and succeed management of this disease by using the data collected and applying two forecasting models; the Smith Period and NegFry.

The results of late blight monitoring showed that the first symptoms of the disease appear in February and March. Most late blight epidemics developed during April, after a rainy period accompanied by night temperatures above than 10 ° C and cloudy skies.

The results of the application of the forecasting models (Smith Period and NegFry) are relatively acceptable compared to the critical periods preceding the epidemics, nevertheless they are imprecise compared to the first symptoms. The NegFry model has shown good sensitivity in predicting epidemics by giving warnings between 4 and 9 days before the outbreak of the disease. Applying an appropriate fungicide during this time may delay or prevent the development of the epidemic.

The shortest period of climate risk preceding the epidemics lasted 12 hours of relative humidity above 90%, lengthened by 09 hours of rain and accompanied by a minimum temperature of 13.8 ° C. The climatic conditions of this period formed the basis for the design of a forecast model for the north-west of Algerian.

**Keywords:** Fungicide, Potato, Late Blight, Climatic conditions, forecasting systems

## الملخص

أجريت دراسة مرض البياض الزغبي في البطاطس تحت ظروف النمو في شمال غرب الجزائر (عين الدفلى ، شلف و مستغانم) ، خلال الزراعة الموسمية ( 2013 ، 2014 و 2016 ) ، لفهم عوامل الأخطار الوبائية و لإنجاح مكافحة هذا المرض باستخدام البيانات التي تم جمعها وتطبيق نموذجين للتنبؤ ؛ فترة سميث ونيجفراي.

أظهرت نتائج رصد البياض الزغبي ، ظهور الأعراض الأولى للمرض في فبراير ومارس . و تطورت معظم أوبئة البياض الزغبي خلال شهر أبريل ، بعد فترة ممطرة مصحوبة بدرجات حرارة ليلية فوق 10 درجات مئوية وسماء غائمة.

نتائج تطبيق نماذج التنبؤ (فترة سميث ونيجفراي) مقبولة نسبياً مقارنة بالفترات الحرجة التي سبقت الأوبئة ، ومع ذلك فهي غير دقيقة مقارنة بالأعراض الأولى. أظهر نموذج نيغفراي حساسية جيدة في التنبؤ بالأوبئة من خلال إعطاء تحذيرات بين 4 و 9 أيام قبل ظهور المرض. قد يؤدي تطبيق مبيد فطري مناسب خلال هذا الوقت إلى تأخير أو منع تطور الوباء.

استمرت أقصر فترة مناخية حرجة و التي سبقت ظهور الأوبئة 12 ساعة من الرطوبة النسبية فوق 90% ، إضافة إلى 09 ساعات من المطر وصاحبها درجة حرارة دنيا 13.8 درجة مئوية. الظروف المناخية لهذه الفترة تشكل أساس تصميم نموذج تنبؤي للشمال الغربي الجزائري.

**الكلمات المفتاحية:** مبيدات الفطريات ، البطاطس ، البياض الزغبي ، الظروف المناخية ، أنظمة الإنذار.

## TABLE DES MATIERES

RESUMES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION	1
<b>1. MILDIU DE LA POMME DE TERRE</b>	<b>5</b>
1.1. Généralité sur la pomme de terre	5
1.1.1. La pomme de terre dans le monde	5
1.1.2. La pomme de terre en Algérie	6
1.2. Généralité sur le mildiou de la pomme de terre	8
1.2.1. Historique	8
1.2.2. Symptomatologie	8
1.2.2.1. Symptômes foliaires	8
1.2.2.2. Symptômes au niveau des bouquets terminaux, et sur les tiges	9
1.2.2.3. Symptômes sur tubercules	10
1.2.2.4. Infection sur des cultures de pomme de terre	11
1.2.3. L'agent pathogène	11
1.2.3.1. Position taxonomique	11
1.2.3.2. Description morphologique	13
1.2.4. Epidémiologie	14
1.2.5. Conditions favorables	16
1.2.5.1. Facteurs climatiques	17
1.2.5.2. Facteurs du sol	17
1.2.5.3. Prédisposition de l'hôte	18
1.2.6. Contrôle et lutte	18
1.2.6.1. Mesures agronomiques	18
1.2.6.2. Mesures chimiques	19
1.2.6.3. Prévisions	20
<b>2. SYSTEMES DE PREVISIONS</b>	<b>23</b>
2.1. Rôle du climat sur le développement de la maladie	23
2.1.1. Rôle du climat sur l'hôte	24
2.1.2. Rôle du climat sur le pathogène	24
2.2. Les principaux systèmes de prévision	25
2.2.1. Période de Smith	25
2.2.2. Modèle de Sparks	26

2.2.3. Modèle de Prognose (Negative pronostic)	26
2.2.4. Modèle de jours favorables	26
2.2.5. Hyre	27
2.2.6. Modèle de valeur de sévérité	27
2.2.7. Blitecast	28
2.2.8. Sharma	29
2.2.9. Le model de Shtienberg	29
2.3. Outil d'aide à la décision (OAD)	30
<b>3. MATERIEL ET METHODES</b>	<b>32</b>
3.1. Région étudiée	32
3.2. Surveillance symptomatologique	33
3.2.1. Diagnostic au laboratoire	34
3.2.1.1. Caractères macromorphologiques	34
3.2.1.2. Caractères micromorphologiques	34
3.2.2. Evaluation de la maladie	35
3.2.2.1. Sévérité de la maladie	35
3.2.2.2. AUDPC	36
3.3. Traitements chimiques	36
3.4. Données climatiques	37
3.5. Modèles prévisionnels :	41
3.5.1. La Période de Smith :	41
3.5.2. Modèle de NegFry	42
3.6. Analyse des périodes favorables	45
3.7. Évaluation de la résistance de quelque variété de pomme de terre	45
3.7.1. Matériel végétal utilisé	45
3.7.2. Conduite de l'essai	45
3.7.3. Dispositif expérimental	46
3.7.4. Evaluation des symptômes	47
<b>4. RESULTATS ET DISCUSSION</b>	<b>48</b>
4.1. Surveillance de la maladie.	48
4.1.1. Description symptomatologiques durant les trois saisons d'étude	48
4.1.1.1. Saison 2013	48
4.1.1.2. Saison 2014	52
4.1.1.3. Saison 2016	54
4.1.2. Diagnostic au laboratoire	58
4.1.3. Evaluation de la maladie	59
4.1.3.1. Sévérité du mildiou	59
4.1.3.2. AUDPC	60

4.2.	Validation des modèles prévisionnels	63
4.2.1.	application des modèles prévisionnels	63
4.2.1.1.	NegFry	63
4.2.1.2.	Période de Smith	63
4.2.2.	Evaluation des résultats des modèles prévisionnels	67
4.3.	Analyses des périodes à risques	68
4.3.1.	Premiers symptômes	70
4.3.1.1.	Région d'Ain Defla 2014	70
4.3.1.2.	Région de Chlef 2013	71
4.3.1.3.	Région de Mostaganem 2013	71
4.3.1.4.	Région de Mostaganem 2014	72
4.3.2.	épidémies	73
4.3.2.1.	Epidémie d'Ain Defla	73
4.3.2.2.	Epidémies de Chlef	74
4.3.2.3.	Epidémie de Mostaganem	75
4.4.	Résultat du comportement de quelques variétés au mildiou	77
4.5.	Discussion générale	79
	CONCLUSION	89
	<b>APPENDICE</b>	
	<b>REFERENCES</b>	



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Evolution de la superficie et la production de pomme de terre en Algérie (2000-2018)	6
Tableau.1.2: L'efficacité des fongicides /Co-formulations pour lutter contre <i>P. infestans</i> sur la base du taux le plus élevé enregistré en Europe	21
Tableau 3.1: Clef descriptive pour l'évaluation de mildiou de pommes de terre	36
Tableau 3.2: Fongicides anti mildiou appliqués	38
Tableau 3.3: Unités de valeur à risque	44
Tableau 3.4: Unités de fongicide (pour le chlorothalonil) pour la simulation de prévision du mildiou décrivant la dégradation de fongicide déterminé par les pluviométries et le nombre de jours depuis la dernière application de fongicide.	45
Tableau 3.5: Règles de décision pour la simulation de prévision	45
Tableau 3.6: Propriété de matériels végétaux utilisés	46
Tableau 4.1: Résultats de surveillance de la maladie	62
Tableau 4.2: Evaluation de la capacité prévisionnelle des deux modèles	67
Tableau 4.3: Détail de la période favorable (Ain defla 2014)	71
Tableau 4.4: Détail de la période favorable (Chlef 2013)	71
Tableau 4.5: Détail de la période favorable (Mostaganem 2013)	72
Tableau 4.6: Détail de la période favorable (Mostaganem 2014)	72
Tableau 4.7: Récapitulatif des périodes favorables des premiers symptômes.	73
Tableau 4.8: Détail de la période favorable (Ain Defla, 2016)	74
Tableau 4.9: Détail de la période favorable (Chlef, 2013)	74
Tableau 4.10: Détail de la période favorable (Chlef, 2016)	75
Tableau 4.11: Détail de la période favorable (Mostaganem, 2016)	76
Tableau 4.12: Récapitulatif des périodes favorables des épidémies.	77
Tableau 4.13: Sévérité du mildiou sur les variétés de pomme de terre.	78

## LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES

Figure 1.1: Evolution de la production mondiale en P de T (2010-2019)	5
Figure 1.1: Symptômes sur feuilles	9
Figure 1.2. E: Symptômes sur bouquets terminaux	9
Figure 1.2. F: Symptôme sur tige	10
Figure 1.3: Symptôme sur tubercules	10
Figure 1.4: un champ infecté par le mildiou.	11
Figure 1.5: Classification des oomycètes.	13
Figure 1.4: Stade sexué et asexué du cycle de vie de <i>P. infestans</i>	15
Figure 2.1: 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	31
Figure 3.1: Localisation géographique de la région d'étude.	33
Figure 3.2: Condition météorologique (Ain Defla, 2014 et 2016)	39
Figure 3.3: Données météorologique (Chlef, 2013, 2014 2016)	40
Figure 3.4: Condition météorologique (Mostaganem, 2013, 2014 2016)	41
Figure 3.5: Dispositif expérimental	47
Figure 4.1: Quelques tâches dans les parcelles irriguées par goutte à goutte	48
Figure 4.2: Destruction de certaines plantes dans les foyers	49
Figure 4.3: Développement des foyers autour des asperseurs (30 avril).	49
Figure 4.4: Premiers symptômes sont observés principalement sur les tiges.	50
Figure 4.5: Destruction totales des plantes avec le phénomène de repousse.	50
Figure 4.6: Premières tâches affectant les tiges, pétioles et bouquets terminaux 14-avril.	51
Figure 4.7: Les pertes engendrées par les taches sur tiges.	51
Figure 4.8: Développement d'un foyer de mildiou.	51
Figure 4.9: Premières lésions du mildiou.	52
Figure 4.10: Une lésion du mildiou avec les taches de l'alternariose.	53
Figure 4. 11: Taches de l'alternariose	53
Figure 4.12: Développement de quelque lésion uniquement dans les rangs irrigués.	54
Figure 4.13: Taches du mildiou sur feuilles.	54
Figure 4.14 : Plusieurs petites taches actives.	55
Figure 4.15: Taches actives avec le feutrage blanc sur la face inférieures des feuilles.	55
Figure 4.16 : L'apparition des foyers du mildiou le 13 avril.	56

Figure 4.17 : La sévérité du mildiou a atteint plus de 90% le 09 mai.	56
Figure 4.18 : L'apparition des premières taches du mildiou le 13 avril	57
Figure 4.19 : Développement d'un foyer de quelques plantes le 13 avril	57
Figure 4.20: Destruction de 90% du feuillage le 21 mai.	57
Figure 4.21: Vue microscopique de <i>Phytophthora infestans</i> (G : 10X40)	58
Figure 4.22: Evolution des infections (%) durant la saison de 2013	59
Figure 4.23: Evolution des infections (%) durant la saison de 2014	60
Figure 4.24: Evolution des infections (%) durant la saison de 2016	60
Figure 4.25: Comparaison de l'AUDPC entre les trois régions	61
Figure 4.26: Résultats des modèles prévisionnels dans la région de Ain Defla	64
Figure 4.27: Résultats des modèles prévisionnels dans la région de Chlef	65
Figure 4.28: Résultats des modèles prévisionnels dans la région de Mostaganem	66
Figure 4.29 : feuillage sain de la parcelle expérimentale	77

## LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

DSS: decision support system

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

h : heure

H % : Humidité relative

Ha : Hectare

HEM : Heures effectives de mildiou

HR : Humidité Relative

MADR : Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural

OAD: outils d'aides de décisions

ONM : Office National de la Météorologie

P : Précipitations

P de T : Pomme de terre

*P. infestans* : *Phytophthora infestans*

T ° C : Température

T- moy - j : Température moyenne journalière

T : Tonne

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION

La pomme de terre est la principale source d'amidon non céréalière dans le régime alimentaire des algériens. La production de cette culture a connu une importante évolution durant la dernière décennie, en passant de 1.2 million de tonnes en 2010 à plus de 5 millions de tonnes en 2019, récoltée sur une superficie de 157 846 Ha [1]. La quasi-totalité de cette production est destinée à la consommation locale. Ce niveau de production est le fruit des efforts conjugués de l'état, à travers les programmes de soutien pour le développement et l'organisation de cette filière (Syrpalac), avec les agriculteurs et son extension dans les régions intérieures et même au sud du pays. En raison de l'accroissement des besoins en consommation de ce tubercule, durant toute l'année, la filière pomme de terre est devenue stratégique et des efforts considérables sont consentis pour assurer la stabilité de son approvisionnement sur le marché. Les efforts financiers déployés, pour le développement de cette culture, sont orientés principalement vers la production de semences et le stockage, néanmoins peu d'intérêt est accordé envers la protection phytosanitaire. En effet, le mildiou ne cesse de provoquer des pertes considérables et continuellement depuis la sévère épidémie de 2007, ayant déstabilisé l'approvisionnement du marché national [2, 3]. Le mildiou de la pomme de terre, causé par *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, est le problème majeur de cette culture dans le monde entier. Les pertes globales annuelles engendrées par cette maladie sont estimées à plus de 6 milliards \$; englobant les pertes de rendement et de couverture phytosanitaire [4].

Face au mildiou, la plupart des agriculteurs n'ont pas les connaissances, ni le soutien ou la formation adéquate pour réussir les contrôles. Outre ces problèmes, s'ajoutent d'autres rendant la protection plus difficile, dans plusieurs régions de production, comme l'indisponibilité des géotypes résistants, l'accès à une semence de qualité, l'efficacité et la disponibilité des fongicides, l'inadéquation des moyens et des ressources financières avec les exigences culturelles [2].

En Algérie, la situation est tout à fait semblable, où les producteurs de la pomme de terre sont confrontés à ces nombreuses contraintes, en plus de la problématique d'importation des semences (100 000 T de semence annuellement), multipliant ainsi les coûts de production [3]. Les efforts de lutte phytosanitaire sont souvent voués à l'échec, en raison de la présence quasi-permanente des sources d'inoculum primaire dans certaines régions, mettant d'emblée en échec les stratégies des contrôles phytosanitaires qui sont purement d'ordre chimique (fongicides).

Des cycles épidémiques sévères de mildiou ont été observés dans des régions potentielles de production (Ain Defla, Chlef, Mostaganem et Mascara), occasionnant des pertes considérables [5,6]. La variabilité du pathogène est un risque grave et parfois insurmontable; le type sexuel A2 a été détecté avec une fréquence élevée dans les régions côtières et occidentales [5,7]. Les populations de *Phytophthora infestans* dans le nord ouest algérien sont composées essentiellement du type sexuel A2 [8]. Des épidémies fréquentes et graves sont enregistrées dans les cultures de saison et arrière saison (printemps et automne) [7]. Les pertes se poursuivent par la multiplication du coût de protection phytosanitaire. Actuellement, une moyenne de plus de quatre traitements chimiques est appliquée, mais la situation ne semble pas contrôlable ; alors qu'un seul traitement anti-mildiou était suffisant avant cette épidémie [6]. Les stratégies de lutte face à cette maladie restent dans l'ensemble basées sur l'utilisation de fongicides, tels que : Préviculture, Infinito, Sereno, Equation Pro, Curzate, Mancozèbe, Ridomil, Manèbe. Globalement, l'application de ces produits chimiques se réalisent de façon systématique, sans planification prévisionnelle, à raison de un à deux traitements par quinzaine, ce qui est pesant sur les coûts, l'environnement et même sur la santé du consommateur.

Toute stratégie de lutte doit prendre en considération les facteurs climatiques, le niveau de résistance de la variété cultivée et les caractéristiques du pathogène. L'interaction entre ces facteurs rend la lutte plus complexe menant à des traitements excessifs et inadéquats [9]. Cette complexité a orienté la lutte, dans les pays développés, vers le développement et l'utilisation des systèmes prévisionnels [10]. Les systèmes récents intègrent l'information sur le cycle de vie de l'agent pathogène,

les données météorologiques, le stade de croissance des plantes, la résistance des cultivars et le type de fongicides et sa rémanence (temps de dégradation) [11].

Plusieurs outils d'aide à la décision (OAD) qui prévoient de façon anticipée, le mildiou de la pomme de terre, ont été développés pour guider la prise de décision concernant les applications de fongicides, dans différentes zones de production de pommes de terre à travers le monde [11]. Ces outils, utilisés pour prédire le risque d'infection, cherchent à prédire le moment opportun pour l'application des fongicides avec évaluation relative des risques de développement de la maladie [11,12]. L'information sur les mesures de contrôles spécifiques est livrée directement aux agriculteurs via des pages web, SMS ou e-mail, via les agents de vulgarisation qui utilisent les OAD, par fax ou téléphone et même par voie des réseaux sociaux [13].

Cette approche de gestion par l'utilisation des systèmes prévisionnels, constitue une solution intéressante pour mieux cerner la problématique de la lutte contre le mildiou. Donc, l'objectif de notre travail est d'améliorer l'efficacité de la stratégie de lutte chimique, actuellement la seule opérationnelle, sur la base d'application des modèles prévisionnels (la Période de Smith et NegFry). Le modèle période de Smith est utilisé en Grande-Bretagne dans l'OAD Blight Watch. Le modèle de NegFry a été développé au Danemark en 1995, comme Outil d'Aide à la Décision. Leurs deux sous modèles ; l'un basé sur le modèle de Pronostic négatif (1966) et l'autre basé sur une méthode développée par Fry et al (1983), sont utilisés dans plusieurs OAD comme Blight Pro développé aux USA en 2015, Symphyt en Allemagne (1998).

Notre premier travail réalisé entre 2009 et 2011 dans la région de Ain Defla [14], a mis en évidence les risques de développement des épidémies de mildiou, en raison de l'impossibilité d'intervention par les fongicides sous un climat pluvial et un état du sol boueux. La culture reste sans protection phytosanitaire le long de ces périodes à risque et jusqu'à le ressuyage du sol (deux à trois jours après la fin de pluie). Il a été retenu que la stratégie de protection de la pomme de terre contre le mildiou est à base exclusive de fongicides et sans préalables ou programme d'application. D'ailleurs les fongicides sont utilisés, soit systématiquement (au moins



une fois par quinzaine) ou après l'apparition des symptômes foliaires. Le choix et le moment d'application des fongicides est dicté par leurs disponibilités et les ressources financiers dispensés par les producteurs. Ces facteurs de risque liés aux conditions pédoclimatique de la région et les pratiques des agriculteurs vouent à l'échec la stratégie de lutte chimique, ajoutant la qualité phytosanitaire de semence utilisé et la dominance des souches agressives.

Donc, il est intéressant d'adopter l'approche prévisionnelle pour gérer la protection de la culture de pomme de terre contre le mildiou de façon durable. Pour cela, Nous avons appliqué le modèle de NegFry et Période de Smith dans trois régions potentielles de production de pomme de terre (Ain Defla, Chlef et Mostaganem). Ces trois régions assurent environ 25% de la production nationale (2018) soit 10.1 millions de tonnes [15].

# **ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE**

## 1. Mildiou de la pomme de terre

### 1.1. Généralité sur la pomme de terre

#### 1.1.1. La pomme de terre dans le monde :

La pomme de terre est la première culture non céréalière, la troisième après le riz et le blé culture, la plus consommée dans le monde. Elle est reconnue comme aliment de base pour la population mondiale, en qualité de source d'énergie (amidon) et joue un rôle essentiel dans la réduction de la pauvreté et l'assurance ainsi que l'équilibre de la sécurité alimentaire du monde en développement [16].

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 à 370 millions de tonnes récolté sur une superficie d'environ 17 millions d'hectares (figure1.1) [17]. Les principaux pays producteurs sont la Chine, l'Inde et la Russie.

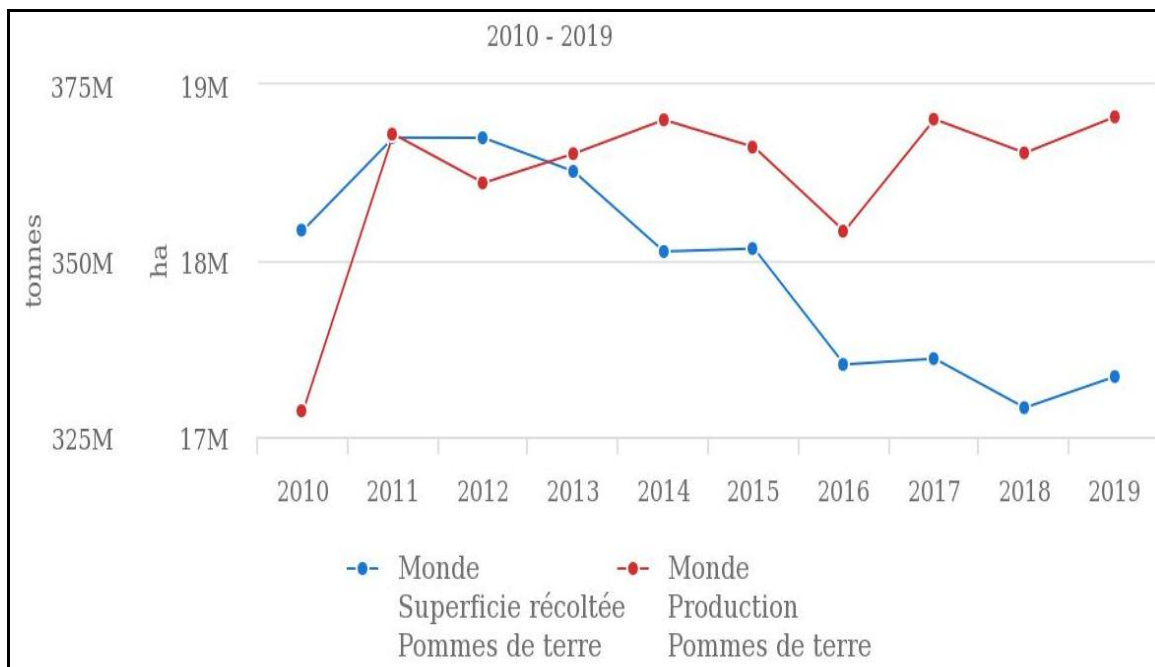


Figure 1.1. Evolution de la production mondiale en pomme de terre (2010-2019).

### 1.1.2. La pomme de terre en Algérie.

En Algérie, ces dernières années, la pomme de terre représente la principale culture maraîchère en termes de superficie et de production. Avec plus de 150.000 hectares, la production a enregistré une évolution considérable, en passant de 1,2 millions de tonnes en 2000 à plus de 5 millions de tonnes en 2019 (tableau 1.1) [17]

Tableau 1.1 : Evolution de la superficie et de la production de pomme de terre en Algérie (2000-2019) [17].

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 presque l'ensemble du territoire national, y compris le sud du pays. Trois wilayas à savoir, Mostaganem, Ain Defla et El Oued, approvisionnent le marché avec plus de 43% de la production annuelle nationale [18].

La diversité des agro-écosystèmes en Algérie permet de cultiver la pomme de terre durant presque toute l'année [18]. 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 les mois de mai à juillet. La culture d'arrière-saison, représente 40 % de la production totale, est produite essentiellement durant les mois de décembre, janvier et février.

Les variétés les plus cultivées sont: Bartina, Kondor, Désirée et Spunta [19], cette dernière variété représente 40% des superficies cultivées, les autres variétés occupent la deuxième place avec 35%.

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

## 1.2. Généralité sur le mildiou de la pomme de terre

### 1.2.1. Historique

La maladie du mildiou, initialement signalée comme étant *Botrytis infestans* en 1845 par C. Montagne, puis renommée par le scientifique allemand Anton de Bary *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary [20]. Toute la récolte de pommes de terre en Europe, notamment en Irlande, a été détruite prématurément entre 1844 et 1845, conduisant à la pire famine irlandaise [21]. Par conséquent, un million de personnes sont mortes de faim et un autre million de personnes ont émigré aux États-Unis et dans d'autres parties du monde.

### 1.2.2. Symptomatologie

Les symptômes du mildiou peuvent être observés sur l'ensemble des organes de la pomme de terre : jeunes pousses (foyers primaires), feuilles et pétioles (à tous les stades de l'épidémie), bouquets terminaux et tiges (surtout lors des attaques précoces mais également durant l'épidémie) et enfin les tubercules. Les figures (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) illustrent les nécroses du mildiou sur les différents organes de la plante. [22].

#### 1.2.2.1. Symptômes foliaires

Les premiers symptômes sont des tâches décolorées, d'aspect huileux qui grandissent et brunissent rapidement, en s'entourant d'un liseré clair à la face supérieure du limbe. Les spores asexuées de *P. infestans* se développent sur la face inférieure des folioles, à la périphérie de la zone nécrosée [7]

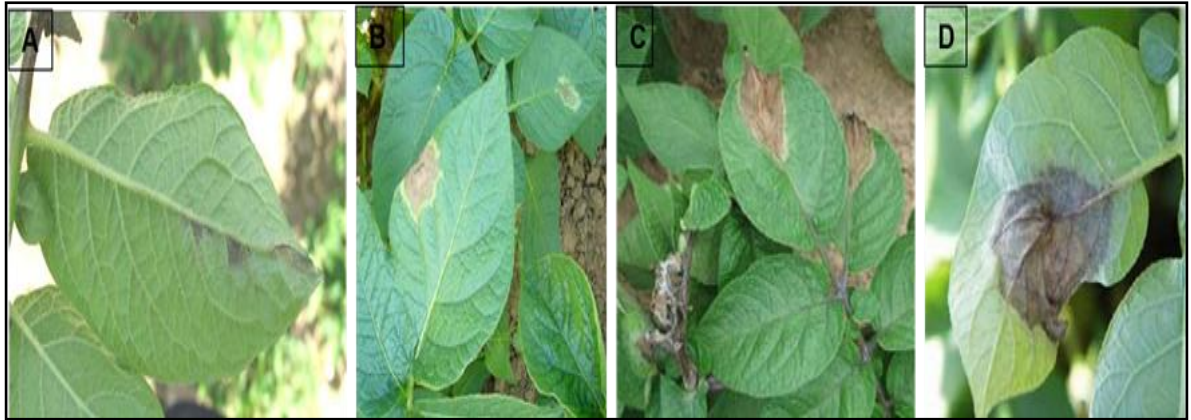


Figure 1.1.A, B, C, D : Symptômes sur feuilles [22]

#### 1.2.2.2. Symptômes sur bouquets terminaux et tiges

Les attaques se manifestent par un brunissement et un recroquevillement des feuilles apicales (figure 1.2. E). Sur tige et pétiole ; Des lésions brunes claires se développent et encerclent la tige et les pétioles, causant la cassure des plantes et feuilles. L'infection de la tige devient plus grave dans des conditions de température et d'humidité relative élevées (Figure 1.2. F). [7]

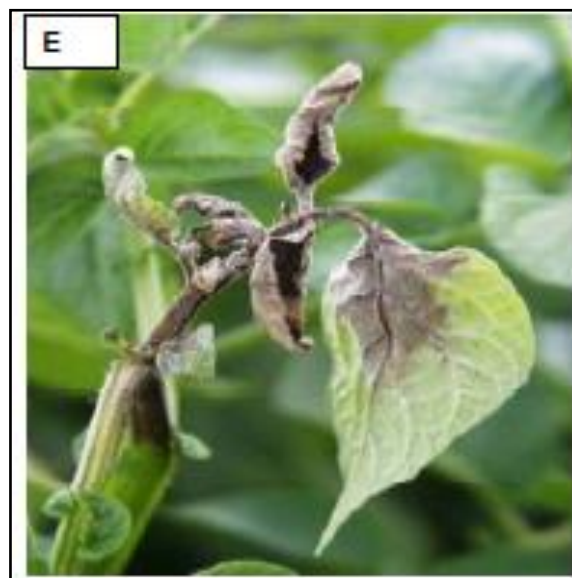


Figure1.2. E : Symptômes sur bouquets [22]

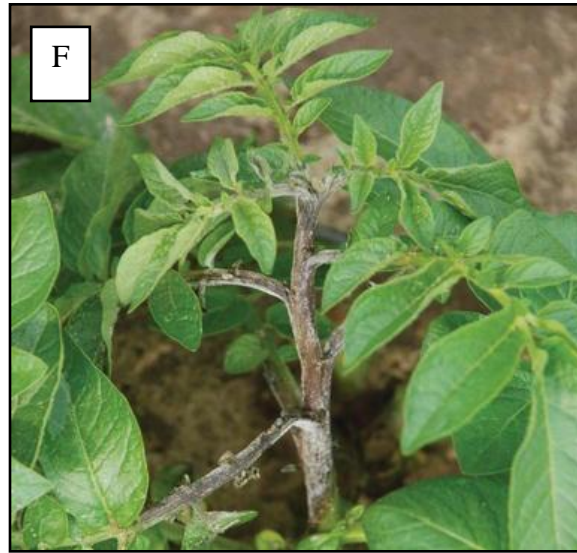


Figure.1.2. F: Symptôme sur tige [23]

### 1.2.2.3. Symptômes sur tubercules

Sur les tubercules, la rouille brunâtre de la chair est le symptôme typique du mildiou (figure 1.3). Sur la surface extérieure, les dépressions dures avec des reflets violacés sur les côtés sont une caractéristique commune. Normalement, les tubercules infectés par le mildiou sont durs, mais les agents pathogènes secondaires associés peuvent se manifester par des symptômes de pourriture molle [23].



Figure 1.3: Symptôme sur tubercules [23].



#### 1.2.2.4. Infection sur des cultures de pomme de terre

Généralement, le mildiou apparaît sur la plupart des feuilles les plus basses de la plante, qui peut passer inaperçu à distance ; lentement la maladie se propage au milieu puis aux feuilles supérieures. Par la suite, les symptômes s'étendent sur des plantes entières et les plantes voisines et à proximité, ainsi la maladie se propage plus rapidement, montrant des situations où la culture apparaît comme brûlée par le feu (Figure 1.4). Le champ fortement infecté dégage une odeur fétide qui peut être ressentie à distance [24].



Figure 1.4 : Un champ infecté par le mildiou [23].

#### 1.2.3. L'agent pathogène

##### 1.2.3.1. Position taxonomique

*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary est un oomycète de la famille des Peronosporaceae. Les oomycètes se caractérisent par un mycélium non cloisonné et des zoospores biflagellés, dont l'un est dirigé vers l'avant est cilié et l'autre vers l'arrière est lisse. Le thalle est diploïde, avec une méiose qui se produit dans les gamétanges et qui aboutit à la formation de spores sexuées ou oospores [24].

Les oomycètes sont décrits comme des agents fongiformes «Pseudo-fungi», en raison de l'absence de la chitine au niveau de leur paroi (paroi composée

de glucane et des petites quantités d'hydroxyproline et cellulose) ; la nature du stérol de leur membrane plasmique (le fucostérol au lieu de l'ergostérol) ainsi que par la nature de leur substances de réserves (les mycolaminarine au lieu du glycogène) [25, 26, 27, 28].

Le genre *Phytophthora* est divisé en six groupes morphologiques, L'espèce *P. infestans*, séparée morphologiquement des autres espèces, est classée dans le groupe IV. La classification de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary s'établit comme suit [24] :

**Règne** : Chromista(ou Stramenopila)

**Phylum** : Oomycota

**Classe** : Peronosporae

**Ordre** : Péronosporales

**Famille** : Perenosporaceae

**Genre** : *Phytophthora*

**Espèce** : *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary

Sur l'arbre phylogénique les Oomycota sont proches les uns des autres, qui se base sur les similitudes de séquences d'ARNr (petites sous-unités). Les oomycètes comme le montre cet arbre (figure 1.5), sont plus proches des chrysophytes, des diatomées et des algues brunes, en raison de leur métabolisme, de la composition de leur paroi cellulaire et de la séquence de l'ARNr, que des ascomycètes ou des basidiomycètes. Parfois, les oomycètes sont classés comme étant plus proches de ces deux principaux groupes de champignons en raison de leur croissance filamenteuse, mais comme le montrent les données, ils ne le sont pas [29,30.31, 32].

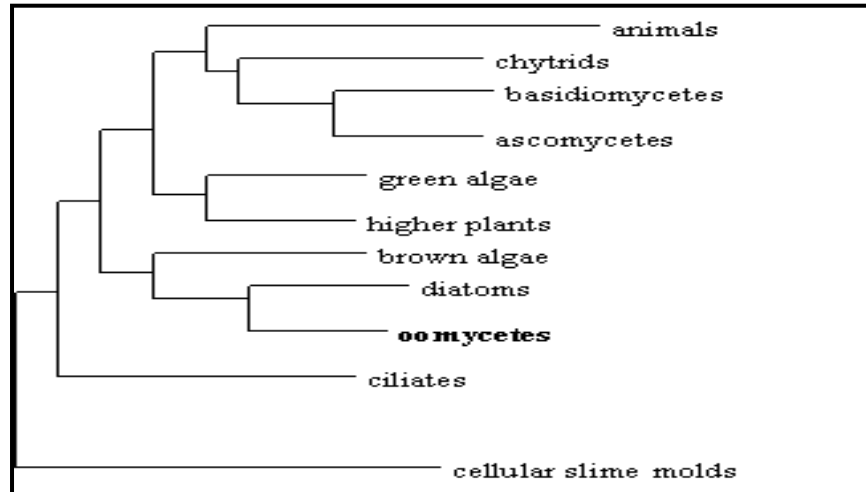


Figure 1.5 : Classification des oomycètes [33].

### 1.2.3.2. Description morphologique

*P. infestans* possède un mycélium coenocytique hyalin à développement endogène (intercellulaire et intracellulaire) via la formation d'haustoria [34]. Le mycélium produit des sporangiophores qui forment à leurs extrémités des sporanges [24].

Les sporangiophores émergent souvent à travers les stomates. Le caractère morphologique principal de ce pathogène est la présence de renflements ou de gonflements au niveau des sites de ramification, en particulier aux points de la formation des sporocystes. Ces derniers en position terminale ont une forme et une taille qui varient selon les isolats. Les sporanges sont citriformes ou limoniformes et possèdent une papille apicale [34].

Les sporanges germent soit par la formation d'un tube germinatif, lorsque la température est supérieure à l'optimum de germination des sporanges (germination directe), soit par la différenciation de leur cytoplasme en zoospores, si la température est inférieure à l'optimum de germination du mycélium et en présence de l'eau (germination indirecte) [35].

Les sporanges ont des formes ovoïde à elliptique et effilés à la base. Les zoospores sont mobiles possédant deux flagelles : un flagelle postérieur lisse et un flagelle antérieur portant des mastigonèmes [36].

#### 1.2.4. Epidémiologie

*P. infestans* est un oomycète hétérothallique, pathogène hémi-biotrophe quasi-obligatoire. Son cycle biologique est composé d'une phase asexuée et d'une phase sexuée (figure 1.6). Pour que la reproduction sexuée ait lieu, les deux types sexuels A1 et A2 doivent être présents simultanément. La détection de l'autre type sexuel se fait par un dialogue hormonal entre les deux hyphes mycéliens, donnant naissance à une oospore après la fécondation. L'oospore constitue le stade de survie du pathogène et la source de variation des populations de *P. infestans*. Les oospores de *P. infestans* peuvent survivre plusieurs années dans le sol, particulièrement quand les températures restent relativement basses [37, 38, 39].

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 à 10 par sporange selon les conditions climatiques) [40, 41, 42]. Après enkystement de ces derniers (Sporanges et/ou zoospores), ils émettent alors un tube germinatif, leur permettant de pénétrer dans la plante hôte, soit par les ouvertures naturelles comme les stomates et les lenticelles, soit au travers des parois végétales par formation d'un appressorium. 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 [43].

Après une période de latence, d'au moins de 2-3 jours pour des températures comprises entre 17 et 25°C et une forte humidité relative [45], des sporangiophores peuvent se différencier au travers des stomates. Ces structures arbusculaires portent de nouveaux sporanges à leurs extrémités [40,46], qui vont constituer l'inoculum secondaire et seront transportés par le vent ou l'eau jusqu'à d'autres organes du même hôte ou de nouveaux hôtes pour initier de nouveaux cycles de reproduction. La brièveté du cycle asexué de *P. infestans* et la production d'importantes quantités

de spores (sporangies et zoospores), qui peuvent être véhiculées sur longues distances, expliquent le développement rapide de la maladie [47.48].

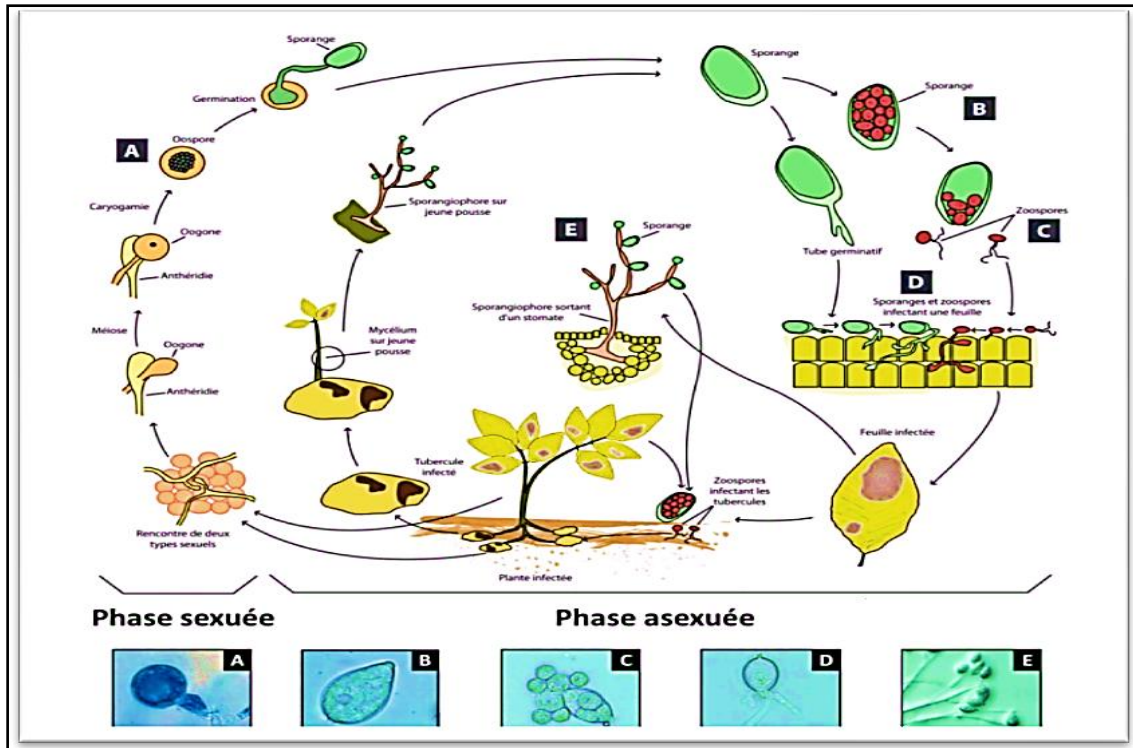


Figure 1.6 : Stade sexué et asexué du cycle de vie de *P. infestans* [44].

La survie de *P. infestans*, hors de la période de culture de la pomme de terre, peut avoir lieu sous forme sexuée grâce à leurs structures de survie, les oospores, ou sous forme asexuée via le mycélium au sein de végétaux vivants (repousses) ou de tubercules [49].

Les évènements 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  $\mu\text{m}$ ) [50], 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. Au contact ou à proximité d'un hôte, les oospores pourront alors germer, donnant un sporange qui pourra alors entamer un cycle asexué. [51]

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. [52]

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 [52], 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 [52,53].

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 [54]. 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 [55, 56, 57].

### **1.2.5. Conditions favorables**

Lorsque les conditions du milieu sont favorables, l'évolution de l'épidémie dépend de l'agressivité du pathogène et du système de défense de la plante hôte [58].

### 1.2.5.1. Facteurs climatiques

Comme de nombreux agents de mildiou, *P. infestans* se manifeste surtout dans les zones de production qui connaissent des périodes d'humidité prolongées (pluies, irrigation par aspersion, brouillards, rosée...) et de temps frais [59]. Comme son nom anglo-saxon « late blight » l'indique, le mildiou se manifeste vers la fin de saison.

La période de latence et la croissance de la lésion dépendent essentiellement de la température, alors que l'intensité de l'infection dépend de l'humidité. La sporulation est abondante durant les périodes humides et fraîches, optimales entre 16 et 22°C et inhibée par les périodes chaudes et sèches [60].

La production de sporanges est importante à 18°C et nulle à 28°C. Les sporanges germent en formant cinq à dix zoospores par sporanges à des températures entre 12 et 15°C, au-delà de 15°C, les sporanges produisent des tubes germinatifs [24]. Les oospores se forment en quantité entre 8 et 15°C ; leur production nécessite la présence d'humidité et d'hygrométrie élevées en permanence [61].

Des nuits froides et des journées modérément chaudes avec une forte humidité favorisent l'extension de la maladie. Les périodes pluvieuses, les irrigations par aspersion, les rosées, sont aussi très favorables aux épidémies, et 2 heures de présence d'eau sur les feuilles sont suffisantes pour amorcer une infection [62].

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 [63].

### 1.2.5.2. Facteurs du sol

Les sporanges produits par les lésions développées sur tige sont souvent à l'origine de l'infection des tubercules [64]. Cependant, l'importance de l'infection dépend de la texture du sol telle qu'une grande porosité qui facilite le déplacement

des spores. *P. infestans* possède une faible capacité saprophytique. Dans le sol, ceci est dû à l'inactivation et la rapide détérioration des sporocystes et du mycélium par les micro-organismes telluriques [65].

### 1.2.5.3. Prédilection de l'hôte

Des études ont montré que la nutrition, la photopériode, l'intensité lumineuse et la présence d'autres agents pathogènes sont impliqués dans la variabilité de la sensibilité des cultivars au mildiou [60]. La croissance des lésions et l'intensité de sporulation dépendent de la nutrition azotée [66].

La sévérité de la maladie varie avec l'âge de la plante et des feuilles. Ainsi, le degré d'infection des tubercules en période de culture dépend de l'âge et de l'état de ces organes. L'importance de l'infection des tubercules dépend également des conditions de stockage et de croissance de ces organes [67].

### 1.2.6. Contrôle et lutte

Malgré les efforts immenses de la recherche et du développement déployés dans le monde entier, *Phytophthora* représente à ce jour la menace la plus grande pour la culture de la pomme de terre. Les différents moyens de lutte, dont nous disposons, ont tous leurs propres limites soit en termes d'efficacité, de toxicité ou d'applicabilité. De plus, chaque stratégie de lutte doit être adaptée aux conditions locales. Les perspectives de réussite sont optimales lorsqu'on combine plusieurs stratégies dont la sélection doit se faire au cas par cas. L'utilisation de modèles prédictifs fiables et un diagnostic affiné sur le terrain sont des conditions primordiales pour pouvoir prendre les contre-mesures appropriées et ciblées sans perdre de temps.

#### 1.2.6.1. Mesures agronomiques

Ces mesures sont essentielles pratiquées dans la gestion globale de la maladie, elles visent surtout à réduire les sources d'infection primaires [68]. Ces mesures sont :



- **Choix des parcelles** : une parcelle ensoleillée, non ombragée et humide, drainant bien, doit être préférée. Des rotations culturales d'au moins une année entre solanacées sont préconisées [69].

- **Fertilisation** : La maîtrise de la fertilisation est importante pour éviter un feuillage dense car la fertilisation azotée déséquilibrée accroît les risques de maladie [70].

- **Irrigation** : l'irrigation engendre le lessivage rapide des produits de contact à base de cuivre et prolonge les périodes humides. N'arroser que le matin, dans des conditions sèches [71].

- **Gestion à la récolte et lors du stockage** : Pour empêcher la contamination des tubercules lors de la récolte par le feuillage infecté, le feuillage doit être détruit afin qu'aucun tissu vert ne reste. Les tubercules infectés doivent être enlevés avant l'admission dans les locaux de stockage, et être éliminés correctement. Les tubercules mildiousés ne sont pas généralement bien conservés dans des conditions typiques de stockage.

#### 1.2.6.2. Mesures chimiques

La plupart des fongicides utilisés pour contrôler le mildiou sont considérés comme protecteurs (contact) et ils doivent être appliqués avant que la maladie s'installe [72]. Le produit le plus utilisé est la bouillie bordelaise dont la matière active est le sulfate de cuivre [73]. Par contre, l'utilisation massive de fongicides systémiques a conduit au développement d'isolats résistants à ces matières actives, qui appartiennent principalement au groupe des phénylamides (métalaxyl et son énantiomère méfénoxam, béalaxyl, oxadixyl) [74]. Plusieurs fongicides avec différentes propriétés sont disponibles dans le marché international. (tableau 1.2.)

Ces dernières années, de nombreuses études mentionnent l'aboutissement à des progrès dans des stratégies prévisionnelles des maladies, basées sur la surveillance météorologique et le développement des cultures. Les objectifs sont

orientés vers l'inclusion de systèmes de prévision appropriés permettront d'améliorer et de mieux gérer l'application et l'efficacité des fongicides [46].

#### 1.2.6.3. **Prévisions**

Pour une meilleure conduite, du cycle de production, le contrôle et la bonne gestion des opérations culturales sont déterminants dans la réussite des procédures de lutte contre le mildiou. La surveillance des cultures, sur terrain, constitue les premières alertes potentielles sur l'éventualité d'une grave épidémie. Le suivi est plus exigé dans les zones où l'humidité persiste et les applications de fongicides peuvent devenir difficiles et inefficaces. Pour lancer des alertes à des traitements préventifs, les systèmes prévisionnels du mildiou se basent sur l'évolution de la température, de l'humidité relative et des précipitations. Parmi ces systèmes, nous retrouvons particulièrement, le système de Hyre [75], le système de Wallin [76] et celui de Blitecast [77] qui intègre et fusionne les deux premiers [44]. Il est à souligner qu'il existe des programmes informatisés, à titre commercial, et sont disponibles pour fournir des prévisions sur terrain [44].

Tableau.1.2. Efficacité des fongicides contre *P. infestans* en Europe [78]

Produit (dose [litre ou kg/ha])	Feuille	Tubercule	Nouvelle croissance	Tige	protectant	curatif	Anti sporulant	pluie	mobilité	Années
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
ametoctradine + 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
(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 + mancozebe <sup>2</sup>	3.0		●●	●●	●●●	●●	●●	●●●	S + C	1981
metalaxyl-M + mancozebe <sup>2</sup>			●●	●●	●●●	●●	●●	●●●	S + C	1977

metalaxyl-M + fluaziname <sup>2</sup>									S + C	
propamocarbe + cymoxanil + cyazofamide ((2.0)+0.5)		4.6							S + T + C	2012
propamocarbe + cymoxanil (2.0)									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

**Légende :** 1 Comprend le manèbe, le mancozèbe, le propinèbe et le métirame. 2 Voir les débats pour les commentaires sur la résistance au phénylamide. 3 Basé sur les tests de terrain menés par EuroBlight en 2006-2015. 4 D'après les essais sur le terrain d'EuroBlight 2009-2012. 5 Basé sur des données limitées. 6 Dans certains essais, la cote était de 1½. 7 Note provisoire basée sur 5 expériences EuroBlight. 8 Les observations de plusieurs essais ont montré que la nouvelle croissance et le mildiou étaient ++. 9 Dans certains essais, l'activité curative était +++.

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). Clé d'évaluations : Blanc = pas d'évaluation ; S=Systemique ; T=translaminaire ; C=contact. 0 : *Aucun Effet*, ● : *Effet Raisonnable*, ●● : *Bon Effet*, ●●● : *Très Bon Effet*, Vide : *Pas De Note*.

## **2. Systèmes prévisionnels**

La prévision peut être considérée comme étant de l'épidémiologie appliquée ; elle a besoin d'une connaissance complète des facteurs affectant l'évolution de la maladie. Un modèle de prévision de maladies prédit le développement ou les changements d'intensités d'une maladie ou plus, sur la base d'informations: météorologiques, culturales, du ou des pathogène(s), ou la combinaison de ces trois paramètres. La prévision comprend toutes les activités informatives [79]:

- Les conditions météorologiques qui sont suffisamment favorables pour certaines maladies.
- L'application des mesures de contrôle qui sont économiquement rentables.
- La quantité de ou des maladie(s) qui doit justifier les dépenses de temps, d'énergie et de l'argent pour assurer les mesures de contrôle.

Les prévisions aident les producteurs à programmer les traitements phytosanitaires et réduire les coûts impliqués, en éliminant des applications inutiles, diminuant ainsi les coûts en main-d'œuvre, sans augmenter le risque de pertes des récoltes. Il s'agit bien d'une approche rationnelle sur les plans écologique et économique, qui peut intégrer les luttes par des moyens cultureux et/ou biologiques [79].

### **2.1. Rôle du climat sur le développement de la maladie:**

Les conditions favorables à l'apparition et à l'accumulation du mildiou, sur la pomme de terre, sont une température de 10 à 22°C, une humidité supérieure à 75% et un temps nuageux ou brumeux [80, 81]. En somme, il a été rapporté que la température ambiante, l'humidité relative, la lumière, le brouillard, les précipitations, la rosée et la vitesse du vent ont une relation étroite et directe avec le développement du pathogène et l'évolution du mildiou [82, 83, 84].

Habituellement, l'infection par les zoospores prend moins de temps car les zoospores restent mobiles jusqu'à 22 heures entre 5 et 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 de l'humidité [85].

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 sur la surface du feuillage. En l'absence de films 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 [85].

#### **2.1.1. 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 âgés. En général, les plants de pomme de terre qui poussent dans des conditions de jours courts sont plus sensibles au mildiou [85].

#### **2.1.2. Rôle du climat sur le pathogène**

La température optimale pour le développement de l'oomycète 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 sur 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 favorisent 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 inhibe ou tue la spore. L'oospore nécessite une température de 12 à 25°C et de l'eau ou une solution diluée aqueuse pour sa germination [85].

## **2.2. Principaux systèmes prévisionnels**

Dans le but de diminuer et même d'éviter les traitements inutiles, des systèmes de prévision ont été élaborés pour assurer des applications aux moments opportuns. Ils tendent à intégrer tous les facteurs de risques en fonction de leurs importances. Maintenant, la plupart sont informatisés et plus sophistiqués qu'avant.

Les prévisions peuvent porter sur le développement des populations, sur les dégâts, sur la date et le nombre des traitements à effectuer. Les éléments essentiels de la prévision sont : la maladie, la plante cultivée et les données météorologiques. Les systèmes de prévision peuvent être élaborés sur des modèles séparés ou combinés.

Des outils d'aide à la décision (OAD) sont développés dans de nombreux pays ou même des anciens sont mis à jour pour inclure les informations nouvellement acquises sur le pathogène. Il est évident que tous systèmes prévisionnels doivent être abordés au niveau local pour tester leur efficacité potentielle [86].

### **2.2.1. Période de Smith**

Deux jours consécutifs avec une température minimale de 10° C et au moins 11 heures d'humidité relative supérieure ou égale à 90 % sont favorables au développement de la maladie [87].

### **2.2.2. Modèle de Sparks**

Le modèle de SPARKS a été développé suite à l'attaque sévère du mildiou de l'année 1983, lorsque la majorité des épidémies du mildiou se sont développées dans les régions Est du Royaume-Uni, alors que le système de Smith n'a mentionné aucun avertissement ou alerte. Sparks a essayé de corriger les erreurs commises dans les systèmes de Bourke et Smith, en tenant compte de la baisse des températures et du développement de générations distinctes du mildiou [56].

Le système de Sparks a été informatisé et les recommandations sont émises par un seul chiffre allant de 0 (aucun risque) à 3 (haut risque). Sparks a également tenu compte du 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 [56].

Le système n'a jamais été officiellement publié et il a été considéré comme trop complexe par les services du Développement Agricole (ADAS) d'Angleterre et au Pays de Galles. Keane 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 dans les conditions irlandaises [88].

### **2.2.3. Modèle de prognose (Negative pronostic)**

Ullrich et Schrodier (1966) ont établi un modèle de pronostic dit négatif, qui utilise la température, l'humidité relative et les précipitations pour prédire quand les épidémies de mildiou ne sont pas susceptibles de se produire. Il a été utilisé pour prédire le timing du premier traitement prophylactique en Allemagne [89].

Les valeurs de risque quotidien et cumulées sur une semaine sont calculées à partir de la levée de la culture. La maladie est attendue lorsque la valeur de risque accumulée a dépassé le seuil de 150 [89].

### **2.2.4. Modèle de jours favorables**

Le modèle, de jours favorables, est principalement basé sur les enregistrements de précipitations journalières et des températures maximales et



minimales. Nugent (1950) a élaboré ce modèle pour les régions où l'occurrence du mildiou était inférieure à 50% [90].

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 28,8°C. Au moins 2 semaines consécutives de conditions climatiques favorables sont jugées nécessaires pour l'apparition d'une épidémie sévère.

#### **2.2.5. Modèle de Hyre**

Hyre [75] a développé un modèle graphique dynamique basé sur la température moyenne, pour les 5 derniers jours, et le cumulé de précipitations pour les 10 derniers jours. Selon 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 supérieure à 30 mm.

#### **2.2.6. Modèle de valeur de sévérité**

Wallin (1962) a développé un système de prévision pour prédire la première apparition et la propagation ultérieure du mildiou, basé sur l'humidité relative (RH) et la température [76]. 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 de HR (supérieures à 90%) et la température moyenne pendant ces périodes. La première apparition du 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 [76].

Ce modèle a été largement évalué dans le monde entier et a été mis en œuvre par les producteurs aux Etats-Unis et d'autres pays. Cette méthode est similaire à la règle de Beaumont [76], 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.

### 2.2.7. **Système de Blitecast**

Contrairement aux systèmes précédents, Blitecast [77] tente de ne pas conseiller uniquement la date de déclenchement des pulvérisations, mais aussi le calendrier des traitements ultérieurs. 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 %.
- Les températures maximales et minimales pendant la période où l'humidité relative était de 90 % et au-dessus.
- Les précipitations quotidiennes au plus proche de 1 mm

Les capteurs d'humidité relative et de la température devraient être placés entre les rangs de pommes de terre et les feuilles de la plante. Le système est essentiellement une combinaison de deux programmes utilisés aux Etats-Unis, un fondé sur les précipitations et les températures maximales et minimales [75], et le second en fonction de l'humidité relative et la température, et utilise l'accumulation des valeurs de sévérité arbitraires sur la base des relations entre la durée relative de l'humidité et de la température [91].

Blitecast est un programme piloté par ordinateur, comme le modèle de pronostic négatif, également fondée sur des valeurs de sévérité. Un avertissement du mildiou initial est donné 7-10 jours après l'accumulation de 10 jours de pluie [75] ou 18 valeurs de sévérité [92] suivie d'un programme de pulvérisation en fonction du nombre de jours favorables en pluie et des valeurs de sévérité accumulées au cours des sept derniers jours.

Les données sont fournies par un opérateur de l'ordinateur central au producteur.

Quatre recommandations sont émises [77] :

- 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).

Les recommandations sont fournies par téléphone et sont transmises dans les 3 minutes à partir des données fournis. Fohner [91] 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.

#### 2.2.8. **Modèle de Sharma**

Le modèle Sharma [93], conclu que le développement du mildiou dans la région du nord-ouest, en particulier dans la région de Jalandhar (Inde) était en corrélation positive avec une humidité relative maximale, des précipitations, de la rosée et des nuages et en corrélation négative avec le minimum de température. Une température inférieure à 26° C et une humidité relative supérieure à 85% favorisent l'apparition du mildiou.

#### 2.2.9. **Model de Shtienberg**

Selon les auteurs de ce model [94], le risque d'apparition du mildiou dans lequel, ils combinaient l'indice d'inoculum et d'infection, pour produire un indice de risque de mildiou (0-3). Ce dernier correspond à nul, léger, moyen et sévère.

En plus des modèles empiriques citées ci-dessus, il existe d'autres modèles : modèle avec dynamique spatiale [95], modèle mathématique [97].

### **2.3. 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 [97].

De Wolf et Isard ont passé en revue 36 modèles de prévision édités de 1996 jusqu'en 2006 qui emploient l'approche du cycle de la maladie et ont identifié quelles sont les étapes incorporées dans ces modèles [97].

La figure (1.5.) 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.

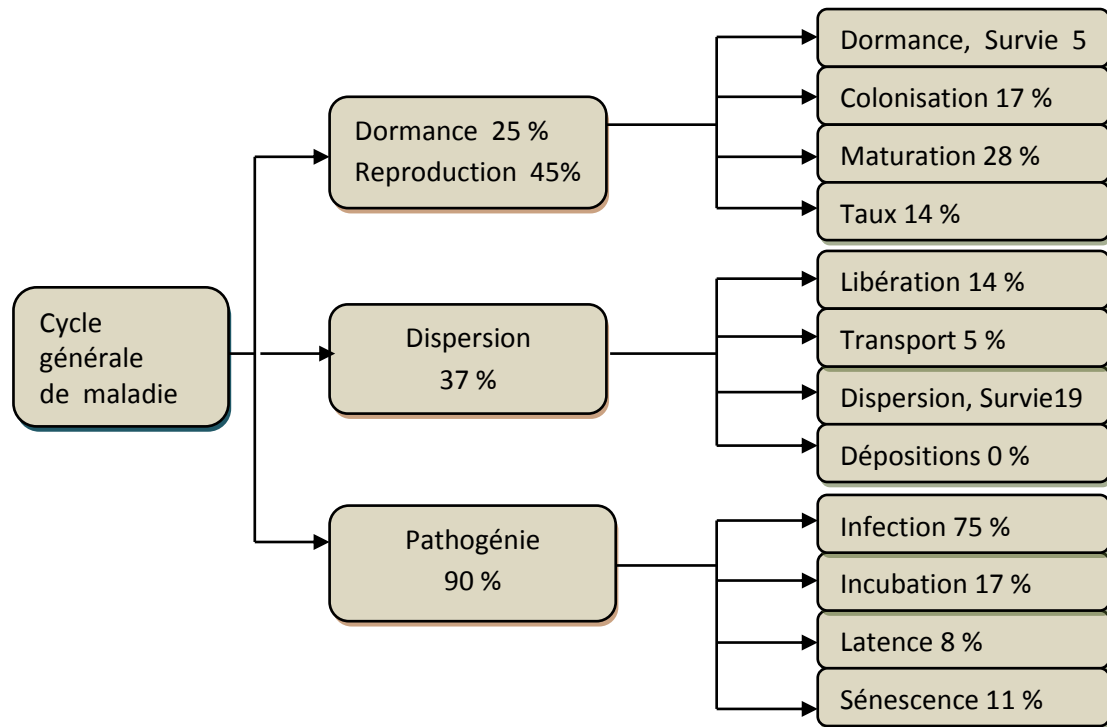


Figure 2.1. Stades du cycle de la maladie considérés dans des modèles de prévisions édités de 1994-2006. Le pourcentage représente entre parenthèses le nombre de modèles qui incluent ce stade dans les simulations.

Les travaux antérieurs sur le mildiou de la pomme de terre dans la région de nord ouest algérien, portent particulièrement sur l'étude de la structure des populations de *P. infestans* entre 2008 et 2014. Ces travaux ont traité le type sexuel, la résistance au métalaxyl et l'agressivité des souches isolées sur différentes variétés. L'étude de l'épidémiologie du mildiou n'a pas été traitée jusqu'à présent.

# **MATERIEL ET METHODES**

### **3. MATERIEL ET METHODES**

#### **3.1. Région étudiée**

Pour entamer notre étude prévisionnelle relative au développement du mildiou de la pomme de terre, nous avons effectué de nombreuses sorties sur terrain pour constater l'importance et la gestion de la culture, durant trois années : 2013, 2014 et 2016. La saison de 2015 était saine du mildiou, aucun symptôme n'a été observé sur l'ensemble de la région d'étude. Le choix des régions et des parcelles est dicté par les dates de plantation, la régularité de la culture de pomme de terre, l'utilisation des fongicides et sur l'historique du mildiou. Ainsi, le choix s'est porté sur trois régions situées à nord-ouest et à l'ouest algérien (figure 3.1) :

Ain Defla ( $36^{\circ}18'18''\text{N}$ ,  $1^{\circ}50'49''\text{E}$ ): c'est une région intérieure, elle est située à 294 m d'altitude dans la plaine de Haute-Chélif.

Chlef ( $36^{\circ}15'0''\text{N}$ ,  $1^{\circ}15'0''\text{E}$ ) : c'est une wilaya côtière. Elle est située à 35 Km de la méditerranée, son altitude est 143 m. La région étudiée est localisée dans l'intérieure ; dans la plaine de Moyen-Chélif.

Mostaganem ( $35^{\circ}55'52''\text{N}$ ,  $0^{\circ}5'21''\text{E}$ ) : elle est située dans le littoral ouest du pays, avec 137 m d'altitude. Les parcelles suivies sont localisées à environ 04 Km de la mer.

Les trois wilayas suscitées sont à vocation de pomme de terre depuis des décennies ; elles figurent parmi les sept wilayas couvrant presque 50% de la superficie totale cultivée en pomme de terre en Algérie. Ces régions occupent 30% de la superficie cultivée au niveau nationale [18].

Nos enquêtes et notre premier travail réalisé dans la région de Ain Defla entre 2009 et 2011 [14], a orienté notre choix sur la surveillance de la culture de saison, qui s'étale de la mi-décembre jusqu'au mois de mai, où les conditions les plus favorables au développement du mildiou sont réunies. Notre étude s'est intéressée

particulièrement aux plantations de la variété Spunta, sensible au mildiou, et occupe plus de 60% de la superficie cultivée [18].



Figure 3.1 : Localisation géographique de la région d'étude.

Afin de mieux comprendre le développement de la maladie dans les trois régions d'étude, on a procédé à l'enregistrement des informations utiles tel que : la date d'observation des premiers symptômes, l'utilisation des fongicides, le début de la phase épidémiologique (à partir de laquelle aucun fongicide n'est efficace) et la date de plantation.

### 3.1. Surveillance symptomatologique

Nous avons surveillé trois champs de pomme de terre appartenant aux agriculteurs, dans chaque région. Les observations du mildiou sont faites tous les sept jours dès l'apparition des premières lésions du mildiou et en se limitant sur le premier champ infecté. Chaque année, la surveillance commence de mois de février et se termine durant le mois de mai ou bien après la destruction totale des champs par la maladie.



### 3.1.1. Diagnostic au laboratoire

Pour confirmer la présence du mildiou sur les lésions des tiges et feuilles de pomme de terre. Des dizaines d'échantillons ont été collectées de chaque région, et apportées au laboratoire le jour même dans des sacs en plastique fermés. Sur ces derniers, nous avons mentionné la date de prélèvement et la parcelle. Chaque foliole doit présenter une seule lésion. Dans le laboratoire, ces échantillons ont été mis dans des chambres humides pour favoriser la fructification du champignon. Ces fructifications ont été examinées directement sous le microscope optique.

Nous avons tenté d'isoler *Phytophthora infestans* à partir du feutrage blanc et des échantillons qui présentent des symptômes typiques de cette maladie sur le milieu Petit Pois et V 8 (Appendice B), en vue de les caractérisés et les utilisés dans les essais d'inoculation.

L'identification de *Phytophthora infestans* a été réalisée selon les caractéristiques macromorphologiques et micromorphologiques, en utilisant les caractéristiques générales des *Phytophthora* [98], précisant les caractéristiques du mycélium, l'organisation du thalle et les caractéristiques des organes de reproduction asexuée.

#### 3.1.1.1. Caractères macromorphologiques

La caractérisation se base sur : la couleur, l'aspect, la production de pigments.

#### 3.1.1.2. Caractères micromorphologiques

A partir de feutrage blanc du champignon nous avons réalisé des montages entre lame et lamelle pour des observations microscopiques aux grossissements successifs (10x10) puis (40x10). Ces observations concernent le mycélium et les caractéristiques d'éventuelles fructifications. Les caractères observés sont photographiés et comparés à ceux décrits pour cette espèce [98].

### 3.1.2. Evaluation de la maladie

**3.1.2.1. Sévérité de la maladie:** Pour évaluer la gravité des symptômes de la maladie, une estimation visuelle de la surface foliaire infectée par rapport à la surface totale de la plante, a été effectuée en se référant à la clef descriptive d'évaluation de mildiou de pommes de terre. (tableau 3.1)

Tableau 3.1 : Clef descriptive pour l'évaluation de mildiou de pommes de terre [99]

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 infectées 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.

### 3.1.2.2. AUDPC (Area Under the Disease Progress Curve)

Les valeurs estimées de la sévérité ont été utilisées pour calculer la Courbe des Aire de progression de la maladie (AUDPC :) par la formule suivante [100]:

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

$X_i$  : 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  $i+1$

## 3.2. Traitements chimiques

La couverture phytosanitaire des champs de pomme est orientée principalement vers la lutte contre le mildiou. Les fongicides anti-mildious pulvérisés sont de différents types (tableau 3.2) : contact, systémique et translaminaire. La fréquence des traitements diffère d'une région à l'autre, allant de deux à cinq traitements, selon les situations de l'apparition des symptômes maladiés.

Les traitements préventifs avec les fongicides de contact commencent généralement à partir de la fin du mois de février et début de mars, coïncidant généralement à des températures favorables au déclenchement du mildiou, en présence d'un couvert végétal susceptible.

Les fongicides systémiques sont appliquées à partir du mois de mars, pour contrôler et limiter la propagation des foyers d'infections primaires et d'empêcher éventuellement les situations épidémiques.

Les produits phytosanitaires appliqués contiennent différentes matières actives : diméthomorphe, métalaxyl, propamocarbe, mancozèbe (Appendice A). Les intervalles entre les traitements d'un agriculteur à un autre ; généralement sont entre deux jours jusqu'à plus d'un mois, suivant les situations symptomatologiques et les conditions climatiques.

Tableau 3.2 : Fongicides anti mildiou appliqués :

Régions		Ain Defla		Chlef		Mostaganem	
Année	N° Trt	Date	fongicide	date	fongicide	date	traitement
2013	1	24 mars	Manco M	01 mars	Manèbe	19 mars	Manèbe
	2	03 avril	Prévicure	20 mars	Prévicure	22 avril	Propinèbe
	3	20 avril	Infito	04 avril	Prévicure	30 avril	Ridomil
	4	07 mai	Filex	07 avril	Prévicure	07 mai	Fortune
2014	1	18 février	Propinèbe	16 avril	Vacomil	20 février	Propinèbe
	2	24 février	Procure	28 avril	Electis	21 mars	Mancotham
	3	08 mars	Mabane	/	/	27 mars	Vacomil
2016	1	10 mars	Mancozèbe	11 avril	Electis	20 février	Manèbe
	2	07 avril	Mabane	14 avril	Manco-C	05 mars	Manèbe
	3	18 avril	Consento	/	/	30 mars	Propinèbe
	4	/	/	/	/	02 avril	Vacomil
	5	/	/	/	/	13 avril	Fortune

### 3.3. Données climatiques

Les régions de Chlef et d'Ain Defla, situées dans la plaine du Chélif. Elles se caractérisent par un climat semi-aride de type méditerranéen, avec des étés très chauds et des hivers froids, malgré leurs proximités de la mer. Les monts du Dahra forment une barrière isolant la plaine de Cheliff de l'influence régulatrice de la Méditerranée sur une longueur de 70 km [101]. La pluviométrie annuelle est très irrégulière (160 mm à 400 mm), répartis sur deux saisons : une saison froide (octobre - avril) et une saison chaude (avril - septembre) très sèche et marquée par des épisodes orageux. La température moyenne annuelle avoisine 20°C pour un écart de l'ordre de 20°C entre les deux saisons [102].

La région de Mostaganem se caractérise par un climat méditerranéen, chaud et sec en été, tiède et pluvieux en hiver, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 398 mm. Les précipitations mensuelles maximales au cours de l'année se situent aux mois de novembre et mars. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17.7°C pour un écart de 15.4°C [103]. Les données climatiques ont été collectées à partir des stations de l'Office National de Météorologie ONM (figures 3.2, 3.3, 3.4).

A partir de ces données essentielles, c'est-à-dire le végétal et la région, nous avons structuré les points critiques de départ, permettant l'analyse et l'application de notre stratégie prévisionnelle. Evidemment, ces données seront intégrées avec les applications de fongicides antimildiou et le suivi du développement de la maladie

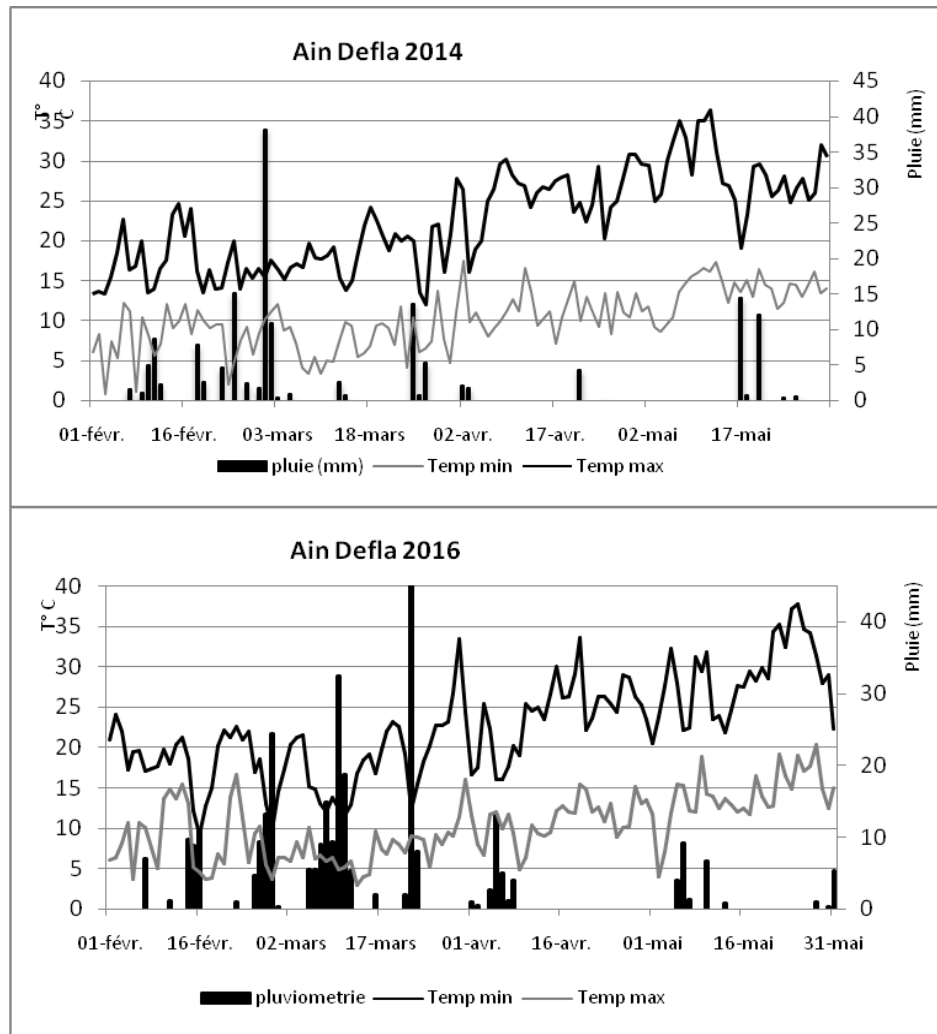


Figure 3.2 : Données météorologique (Ain Defla, 2014 et 2016) [104]

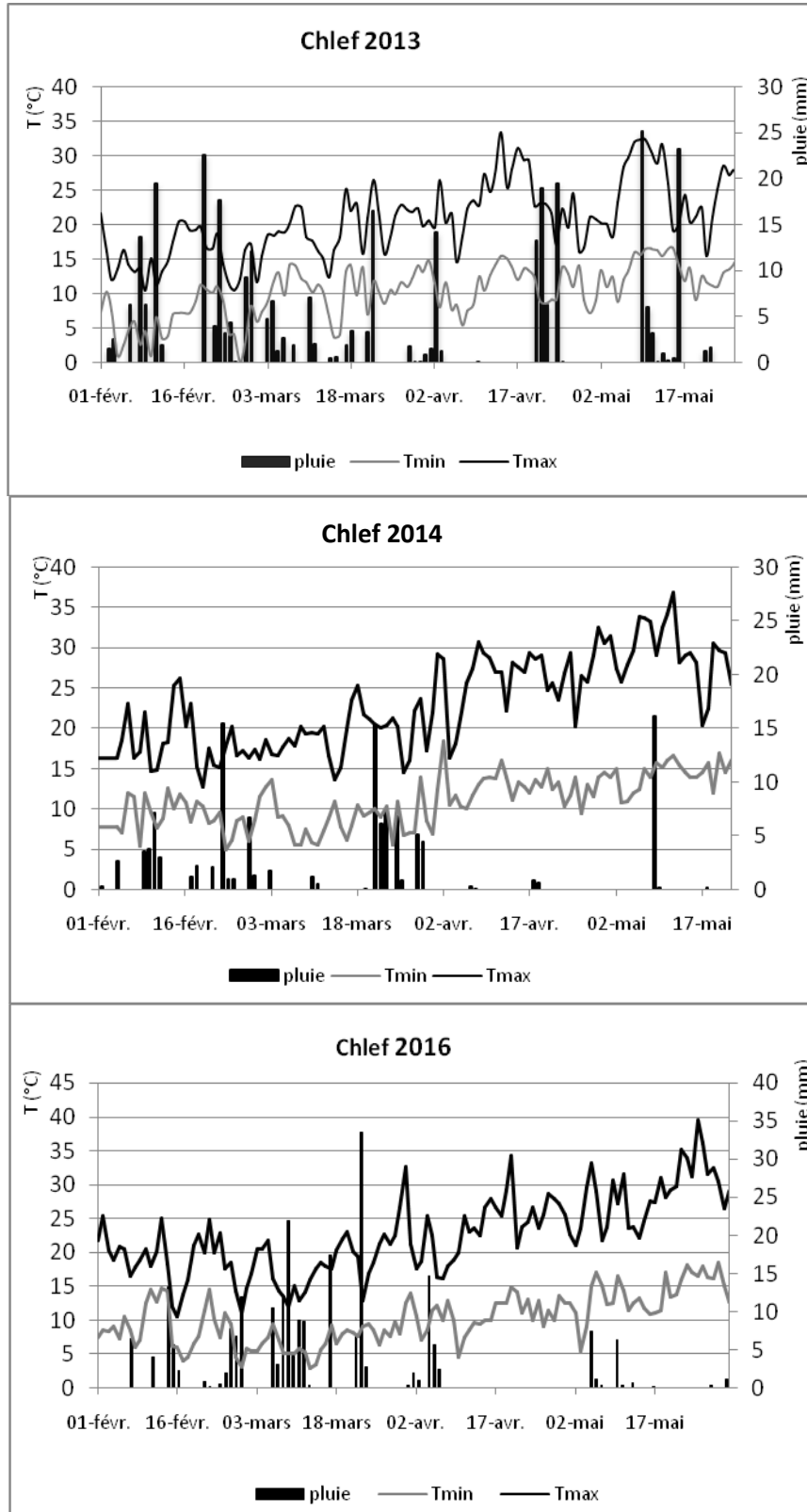


Figure 3.3 : Données météorologique (Chlef, 2013, 2014, 2016) [104]

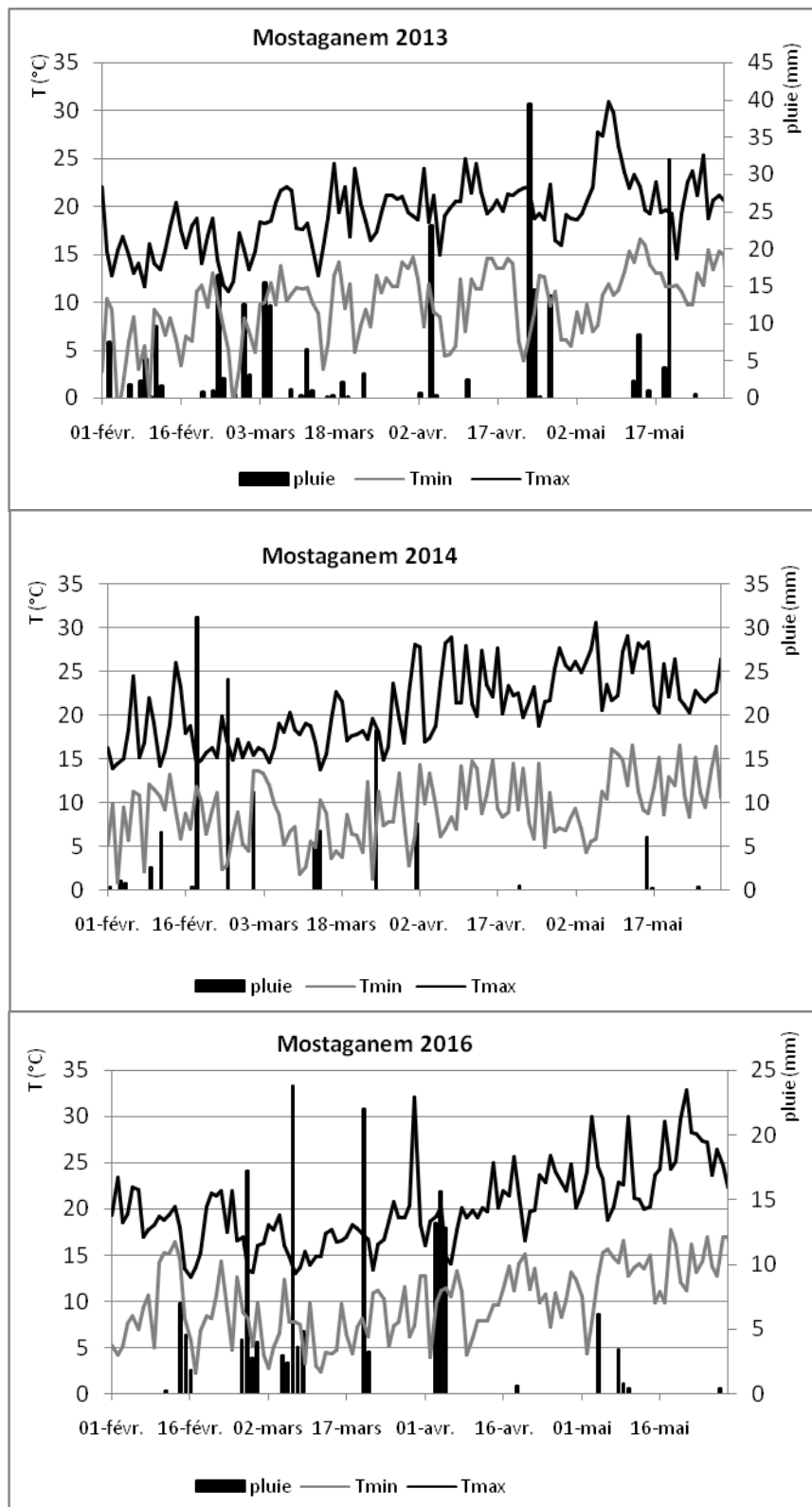


Figure 3.4 Données météorologiques (Mostaganem, 2013, 2014 2016) [104]

### 3.4. Modèles prévisionnels :

Nous avons adopté deux modèles prévisionnels : la Période de Smith et le modèle de NegFry. L'application de ces modèles a commencé à partir du mois de février selon le climat et l'historique d'attaque du mildiou. Ainsi, nous pouvons planifier le premier traitement fongicide et les traitements subséquents.

#### 3.4.1. Période de Smith :

Le modèle de Smith est le système national d'avertissement en Grande Bretagne depuis 60 ans (1956-2017). Il a comme variables d'entrées la température minimale et l'humidité. La Période de Smith se produit à 100% lorsque [87]:

- la température minimale est supérieure à 10 °C.
- l'humidité relative est supérieure à 90 % pendant 11 h, durant deux jours consécutifs.

Si les critères du premier jour sont accomplis et le deuxième jour atteint 10 heures d'humidité relative supérieur à 90%, ceci indique 90% de la Périodes de Smith [87].

Le modèle de Critère d'Hutton vient de remplacer la Période de Smith en Grande Bretagne à partir de 2017. Il recommande un traitement si les conditions ci-dessous sont remplies durant deux jours consécutifs [105] :

- 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 heure, ceci rend le modèle plus sensible au période critique et recommande plus de traitement par rapport au modèle de Période de Smith. Dans le résultat on représente seulement les traitements recommandés par le modèle de Période de Smith.



### 3.4.2. Modèle de NegFry

**Variables d'entrée:** le model nécessite les donnée suivantes [106].

- Variables climatiques: pluviométries quotidiennes (millimètre), température moyenne horaire et humidité relative.
- Variables calculées: Nombre d'heures consécutives avec l'humidité relative supérieur ou égal à 90%,
- Plante hôte: Comportement du cultivar (susceptible, modérément susceptible ou modérément résistant).
- Fongicide: Temps (jours) depuis la dernière application de fongicide.

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 fongicides (tableau 3.4.).

Le 2<sup>ième</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 3.3). Des unités du mildiou sont calculées, selon le nombre d'heures consécutives où l'humidité relative est supérieure ou égale à 90 %. La température moyenne est répartie dans six intervalles (< 3, 3-7, 8-12, 13-22, 23-27 et > 27 °C).

Tableau 3.3 : Unités de valeur à risque [106].

Température moyenne (C)	Comportement de cultivar	Heures consécutives d'humidité relative > = 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	13-24
	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 >=90%. Période d'estimation des unités du mildiou 24 hr									
b- /= aucune unité du mildiou									
c- S = cultivars susceptible.									
d- MS = cultivars modérément susceptible.									
e- MR = cultivars modérément résistant									

Tableau 3.4 : Unités de fongicide (pour le chlorothalonil) pour la simulation de prévision du mildiou décrivant la dégradation de fongicide déterminé par les pluviométries et le nombre de jours depuis la dernière application de fongicide.

Temps (jours) depuis la dernière pulvérisation	Précipitation quotidienne (millimètre) qui résulte des unités de fongicide de :						
	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	/	/	/	/

La décision concernant l'époque d'application des fongicides se base sur les unités cumulatives du mildiou ou les unités de fongicides appliqués depuis le dernier traitement (tableau 3.5.).

Tableau 3.5: Règles de décision pour la simulation de prévision [106].

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

### 3.5. Analyse des périodes favorables

Nous avons analysé les périodes favorables avant l'apparition des symptômes du mildiou et le début des épidémies. Les périodes critiques sont caractérisées par la durée d'humidité relative, le cumulé de précipitations et les températures.

### 3.6. Évaluation de la résistance de quelque variété de pomme de terre

#### 3.6.1. Matériel végétal utilisé

Nous avons testé quatre variétés : Spunta, Kondor, Désirée, Arizona et Spunta. Les propriétés des ces variétés sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.6. Propriété de matériels végétaux utilisés

<b>Variétés</b>	Spunta	Spunta	Desirée	Arizona	Kondor
<b>Classes</b>	A	E	E	A	E
<b>Date de certification</b>	16/01/2017	02/01/2017	12/12/2016	05/01/2017	09/12/2016
<b>Provenance</b>	Pays Bas	Danemark	Pays Bas	Pays Bas	Pays Bas

#### 3.6.2. Conduite de l'essai

Le sol a été préparé avec un labour profond suivi d'un passage par le covercrop pour ameublir le sol, ensuite un passage de billonneuse pour préparer le lit de semence. La plantation a eu lieu manuellement vers la fin de février 2017, avec un écartement de 0,25 x 0,75 m. Après un mois de la plantation, un engrais NPK a été apportés (NPK: 15/15/15) à raison de 10 Qx à l'hectare. L'application d'un herbicide sélectif (à base de Metribuzine) à la pomme de terre après la plantation et avant la levée. L'urée 46 a été pulvérisée à raison de 2 Qx/ha, après le buttage.

La parcelle expérimentale est irriguée, le soir par aspersion, deux fois par semaine en l'absence des pluies, pour favoriser la contamination. L'entretien de la culture consiste en des binages et des buttages. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué afin de favoriser la contamination naturelle des parcelles par le mildiou et de pouvoir juger le comportement des variétés au cours de la végétation.

### **3.6.3. Dispositif expérimental**

L'essai a été conduit dans la région de Rouina (à 10 KM d'Ain Defla) au voisinage des champs de pomme de terre. Elle constitue un environnement favorable pour la contamination naturelle. Les variétés sont disposées en blocs aléatoires complets à trois répétitions. Les traitements sont représentés par les cinq variétés. La parcelle expérimentale, a pour dimensions 15 x 9 m. Elle est divisée en trois blocs de 15 x 1.5 m; séparés d'une bande de 2.25 mètre. Au niveau de chaque parcelle élémentaire, la plantation est réalisée à raison de 12 plantes par ligne, soit 48 plantes par parcelle élémentaire (Figure 3.5).



Figure 3.5 : Dispositif expérimental

#### **3.6.4. Evaluation des symptômes**

Les observations sont faites tous les sept jours, dès la première manifestation des premiers symptômes de mildiou. La notation est effectuée par l'impact de la maladie exprimé en pourcentage de destruction foliaire sur l'ensemble de la parcelle élémentaire, en se basant sur la clé descriptive pour l'évaluation de mildiou de la pomme de terre, (Tableau 3.2.). Pour juger la sévérité d'infection, nous avons exprimé les résultats par l'AUDPC [100]. La comparaison des moyennes a été effectuée avec le test de Duncan-Waller au seuil 5%.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1. Surveillance de la maladie

#### 4.1.2. Description symptomatologiques durant les trois saisons d'étude

Durant nos surveillances symptomatologiques, programmé une fois par semaine, les observations concernent la recherche d'éventuels symptômes typiques apparents. A ce stade nous ciblons particulièrement les lésions sur feuilles et tiges. Vue les dates de plantation, la précocité de la culture et variabilité des symptômes par rapport aux saisons et régions, nous avons présenté la description symptomatologique par saison en présentant la région de Mostaganem en premier puis Chlef et Ain Defla.

##### 4.1.2.1. Saison 2013

**Mostaganem** : les premières taches ont été détectées le 15 mars (60 jours après l'émergence de la culture), suite à une période pluvieuse (7.7 mm) de trois jours consécutifs accompagnée d'une température moyenne variant entre 10 et 15 °C. La progression de la maladie est souvent limitée par les vents répétés et le système d'irrigation (goutte à goutte). Le contrôle de la maladie devient difficile après une importante quantité de pluie (plus de 50 mm pendant deux jours) enregistré dans la dernière semaine de mois d'avril (figures : 4.1 jusqu'à 4.3).



Figure 4.1 : Quelques taches dans les parcelles irriguées par goutte à goutte.





Figure 4.2: Destruction de certaines plantes dans les foyers



Figure 4.3: Développement des foyers autour des asperseurs (30 avril).

**Chlef :** la date de plantation a été avancée par un mois. Après une période pluvieuse (21 mm) avec des températures maximales supérieures à 15°C, la maladie a été détectée au début de mars (53 jours après l'émergence de la culture). La maladie s'est progressé rapidement le 20 mars, suite à une période marqué par des températures moyennes très favorable atteignant 19°C avec un cumulé de 32 mm de pluies suivi par une autre période pluvieuse de deux jours de 20 mm. Les traitements devenaient inefficaces et la plupart des agriculteurs ont abandonné leurs champs, par suspension des traitements phytosanitaires (figures 4.4 jusqu'à 4.5).



Figure 4.4.: Premiers symptômes sont localisés sur tiges et pétioles des feuilles.



Figure 4.5 : Destruction totales des plantes avec le phénomène de repousse.



**Ain Defla** : les premières lésions du mildiou ont été observées en mi mars avec les symptômes de l'alternariose (34 jours après l'émergence de la culture), ces lésions n'ont pas évolué vers une épidémie jusqu'à le mois d'avril. Où la maladie s'est développée suite à une période pluvieuse (figure 4.6 jusqu'à 4.8).



Figure 4.6 : Premières taches affectant les tiges, pétioles et bouquets terminaux 14-avril.



Figure 4.7 : Les dégâts engendrés par les taches sur tiges.



Figure 4.8: Développement d'un foyer de mildiou.

#### **4.1.2.2. Saison 2014 :**

**Mostaganem :** la maladie a été observée très tôt le 18 février (40 jours après l'émergence de la culture) après une importante quantité de pluie (31mm), mais la pression de la maladie était globalement jugée faible durant toute la saison (figure 4.9). Le pourcentage d'infection n'a pas dépassé 1%. Durant le mois d'avril, le climat a été marqué par une faible activité pluviométrique accompagné par des températures minimales inférieure à 10°C.



Figure 4.9 : Premières lésions du mildiou.

**Chlef :** le climat était sec, la pression d'infection a été considérée faible par rapport à l'année passée. Les premières taches du mildiou ont été observées durant le mois d'avril, soit 72 jours après l'émergence de la culture, avec coexistence et dominance des taches de l'alternanariose (figures 4.10 et 4.11). Un cumulé de 11.4 mm de pluie seulement a été enregistré pendant le mois d'avril reparti sur trois périodes éloignées.



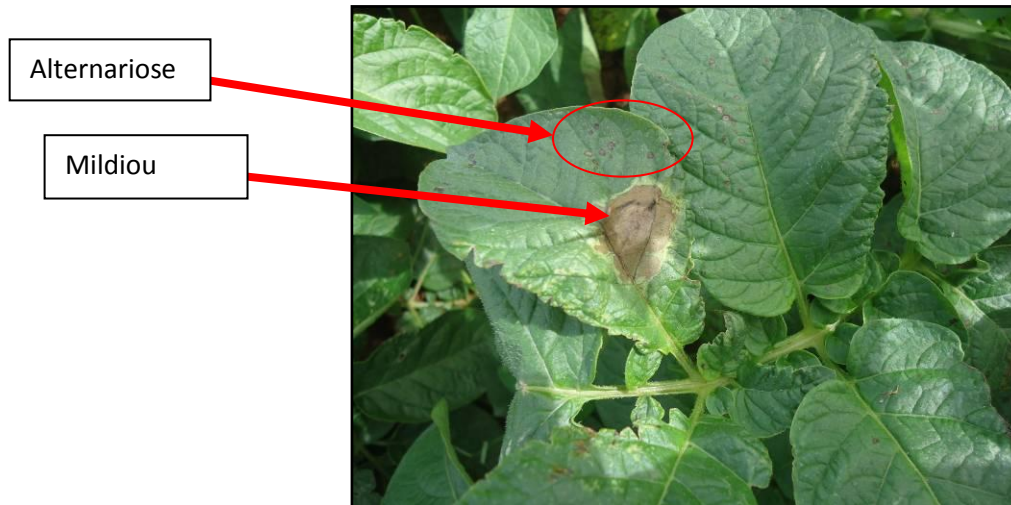


Figure 4.10 : Une lésion du mildiou avec les taches de l'alternariose.



Figure 4. 11 : Taches de l'alternariose

**Ain Defla** : les dates de plantations ont été avancées. Le mildiou a été détecté tôt, (35 jours après l'émergence de la culture) après un cumul de pluie de 10.2 mm. Une application de Propinèbe (fongicide de contact) a été observée le même jour d'apparition des symptômes, suivi d'une autre en l'espace de six jours. Au total sept traitements ont été appliqués permettant une bonne maîtrise de la maladie. Durant le mois d'avril, nous avons enregistré quelques lésions suite à l'irrigation (figure 4.12).



Figure 4.12 : Développement de quelques lésions uniquement dans les rangs irrigués.

#### 4.1.2.3. Saison 2016 :

**Mostaganem** : la saison était défavorable pour le développement de la maladie. Les premiers symptômes ont été observés tardivement le 09 avril (86 jours après l'émergence de la culture), après une période pluvieuse de 32 mm. Cette période favorable a été interrompue par des températures minimales basses (4,2 °C) suivi par les vents engendrant la cassure des feuilles. Le pourcentage d'infection n'a pas dépassé 1%.(figures 4.13 et 4.14)



Figure 4.13 : Taches du mildiou sur feuilles.



Figure 4.14: Plusieurs petites taches actives (lésions brunes entourées par le vert-clair).

**Chlef :** les premières attaques du mildiou ont été enregistrées au début de la deuxième semaine d'avril (76 jours après l'émergence de la culture), après un cumulé de 22,8 mm de pluie sur trois jours consécutifs. Un fongicide de contact a été appliqué après l'apparition des premières infections (Electis). Après dix jours de cette période favorable, l'humidité a été assurée et prolongée par l'irrigation. La maladie s'est aggravée par l'impossibilité de traitement due à l'état hydrique insuffisant des plantes. Notant que durant cette période, la température moyenne était idéale variant entre 15 et 20°C avec un ciel couvert du nuage. Les parcelles traitées pour la deuxième fois, jaunissaient par phytotoxicité et celles irriguées, la maladie a été progressé rapidement (figure 4.15 jusqu'à 4.17).



Figure 4.15 : Taches actives avec le feutrage blanc sur la face inférieure des feuilles.





Figure 4.16 : L'apparition des foyers du mildiou le 13 avril.



Figure 4.17 : Destruction presque totale de la culture par le mildiou le 09 mai.

**Ain Defla :** malgré l'enregistrement des pluies durant le mois de février et mars, aucune manifestation de mildiou n'a été observée. Ces périodes pluvieuses ont été accompagnées par des températures défavorables inférieures à 10 °C. L'apparition du mildiou a été observée durant la deuxième semaine d'avril (60 jours après l'émergence de la culture), après un cumulé de plus de 25 mm de pluie. La programmation d'un traitement avant cette période critique était difficile car le climat était sec. Les agriculteurs ont procédé à l'irrigation ce qui prolonge la période favorable pour la maladie (figures 4.18 jusqu'à 4.20).





Figure 4.18 : L'apparition des premières taches du mildiou le 13 avril.



Figure 4.19 : Développement d'un foyer de quelques plantes le 13 avril.



Figure 4.20 : Destruction de 90% du feuillage le 21 mai.

#### 4.1.3. Diagnostic au laboratoire :

Les observations qui ont été faites directement à partir des lésions présentant un feutrage blanc sont typiques de cet agent fongiforme :

- Macroscopiquement, le feutrage est de couleur blanchâtre, d'aspect duveteux, de forme irrégulier et sans pigmentation.
- Microscopiquement, les sporanges de *P. infestans* sont caduques, l'oomycète ayant un court pédicelle ou cicatrice d'attachement à la base. Les sporanges sont semipapillate, ayant un petit bouchon ou un bouton à l'extrémité où les zoospores seront libérées. La forme des sporanges est ovoïde limoniforme. Le mycélium est de couleur hyaline, non cloisonné (Figure 4.21).

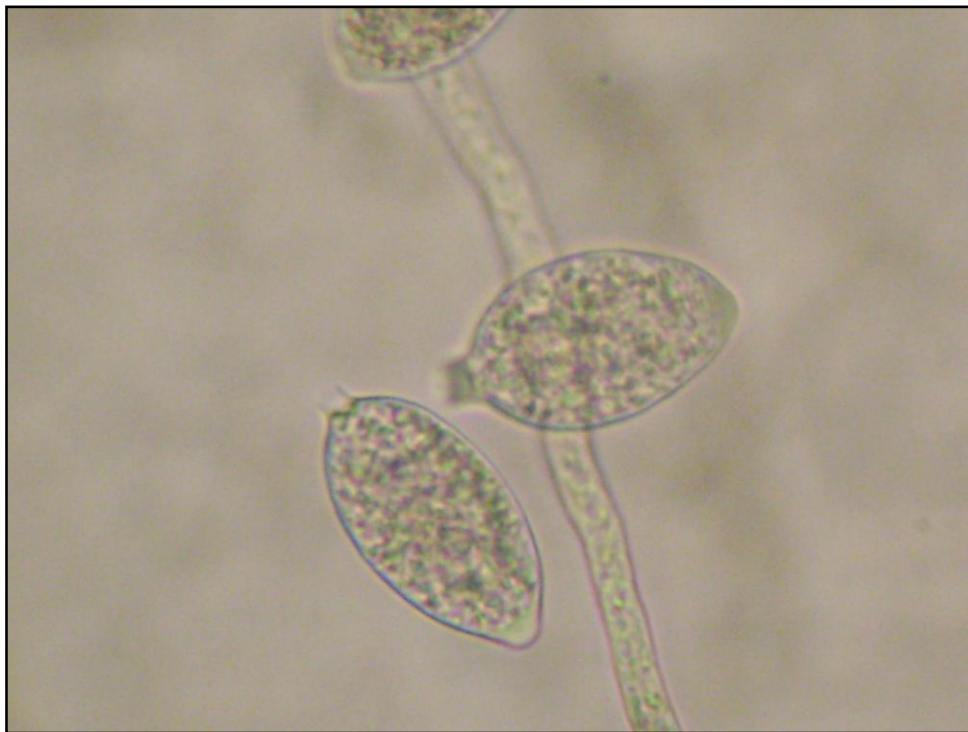


Figure 4.21 : Vue microscopique de *Phytophthora infestans* (G : 10X40)

Nous avons tenté l'isolement du pathogène (*P. infestans*) sur des milieux solides (V8 et Petit pois) mais sans réussite (oomycète obligatoire).

#### 4.1.4. Evaluation de la maladie.

Pour estimer et comparer la gravité de la maladie dans les régions d'études, nous avons calculé la sévérité et l'AUDPC.

##### 4.1.4.1. Sévérité du mildiou

En comparant l'évolution de la maladie dans les trois régions, on constate que la progression rapide de l'épidémie a été notée dans la région de Chlef (figures 4.22 et 4.24)

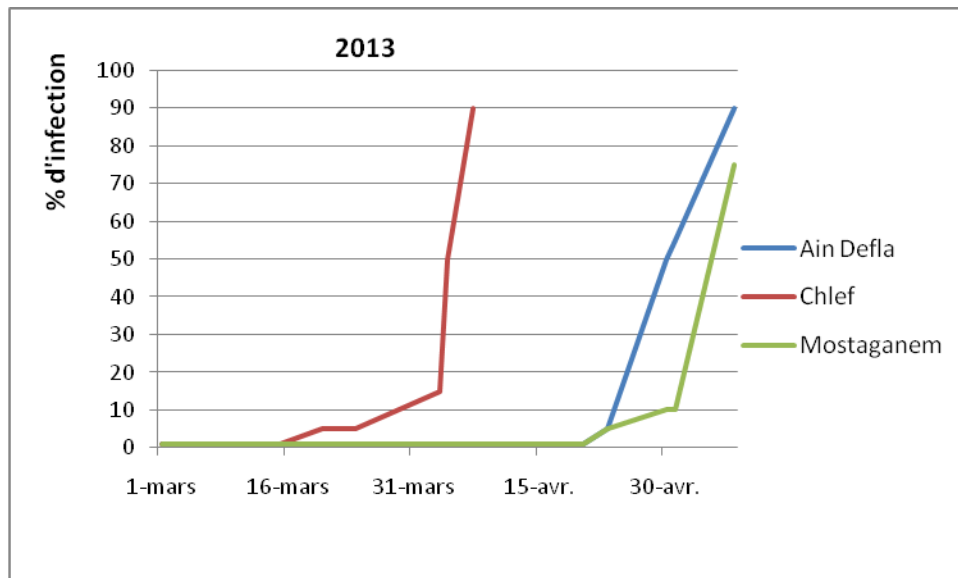


Figure 4.22 : Evolution des infections (%) durant la saison de 2013

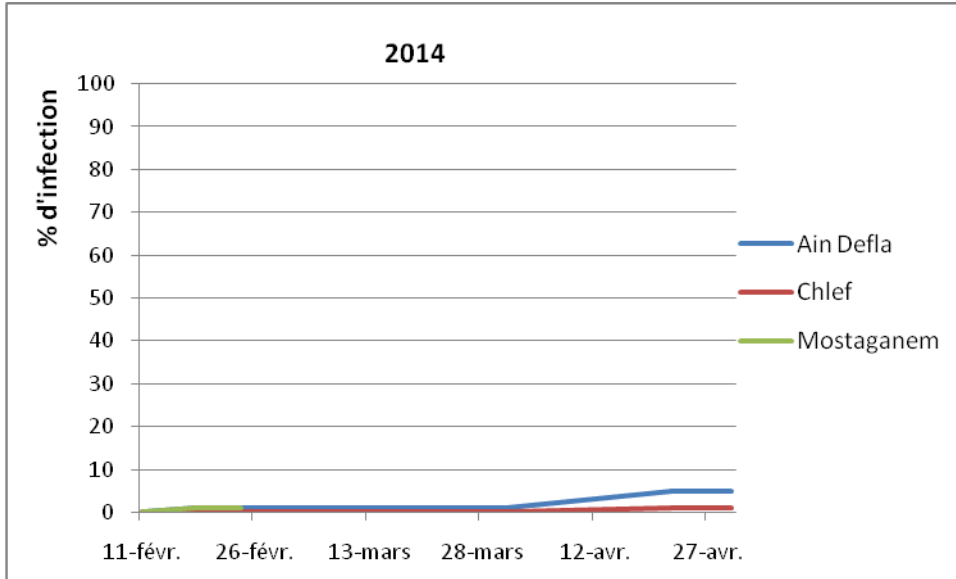


Figure 4.23 : Evolution des infections (%) durant la saison de 2014

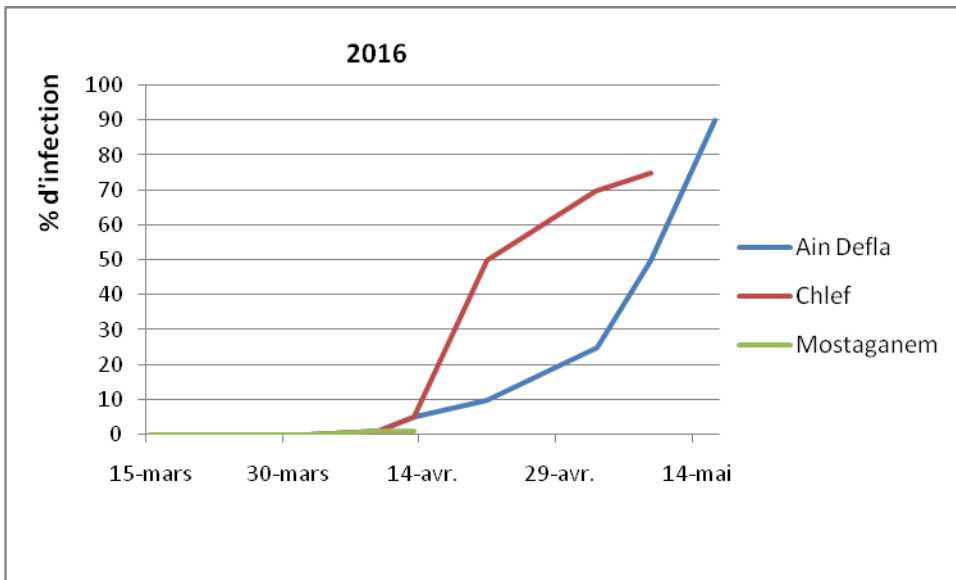


Figure 4.24 : Evolution des infections (%) durant la saison de 2016

#### 4.1.4.2. AUDPC

Les valeurs de l’AUDPC calculées en 2013, pour les trois régions, et en 2016 pour les régions de Chlef et Ain Defla, montrent que la maladie a progressé à une échelle épidémique, indiquant l’inefficacité et l’échec des programmes des traitements chimiques appliqués (figure 4.25).

Les matières actives les plus utilisées sont : Mancozèbe, Propineb, Manèbe, Metalaxyl, Propamocarbe. Les traitements par des fongicides systémiques sont appliqués de façon curative (après l'apparition des symptômes) après les pluies. Dans la région de Chlef (2013), le premier traitement était un fongicide de contact (Manèbe), appliqué le jour de début de l'épidémie. Tandis que dans la région de Mostaganem, le fongicide de contact (Manèbe) a été pulvérisé quatre jours avant le début de l'épidémie. Dans la région de Chlef (2016) le fongicide de contact (Electis) a été appliqué après l'apparition des premiers symptômes par deux jours. Ainsi, le nombre des traitements chimiques était entre deux à cinq applications, en fonction de la progression de maladie, les ressources de l'agriculteur et la disponibilité des fongicides.

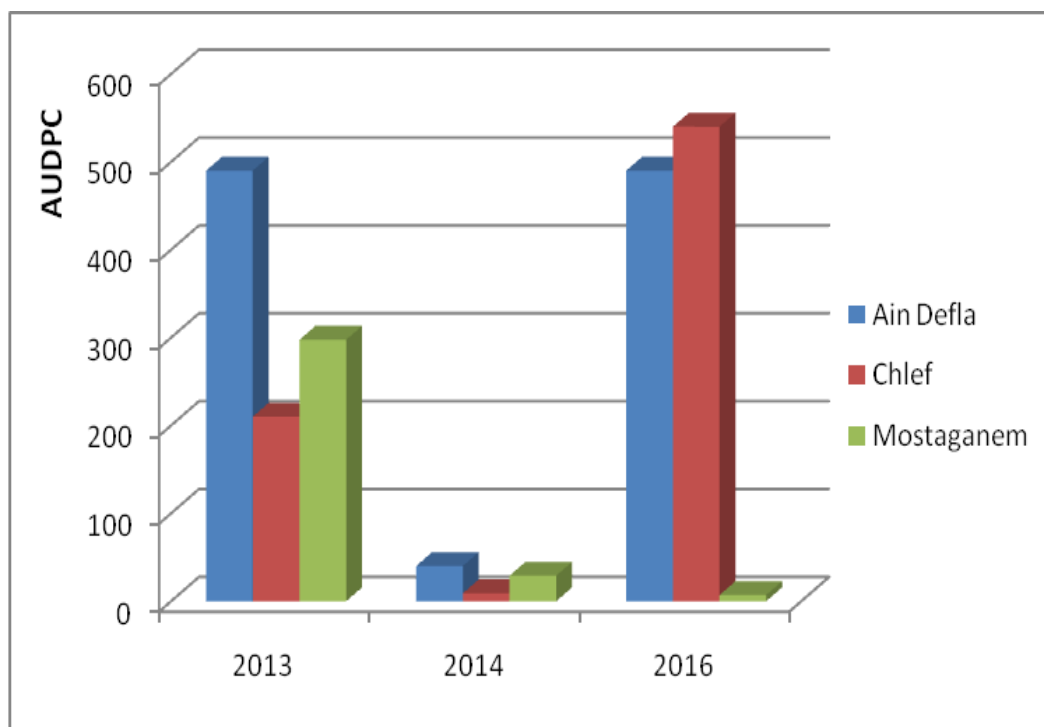


Figure 4.25: Comparaison de l'AUDPC entre les trois régions.

Le tableau 4.1 résume les résultats de la surveillance du mildiou dans les régions étudiées.

Tableau 4.1 : Résultats de surveillance de la maladie

Années	Régions	premiers symptômes	Début l'épidémie	AUDPC	Traitements	Premier traitement	Plantation
2013	Ain defla	15 mars	23 avril	490	4	24 mars	10 janv.
	Chlef	1 mars	20 mars	210	4	01 mars	08 déc.
	Mostaganem	15 mars	26 avril	297,5	4	19 mars	15 déc.
2014	Ain defla	18 fév	30 avril	40	7	18 fév.	15 déc.
	Chlef	22 avril	/	9	2	16 avril	10 janv.
	Mostaganem	18 fév	/	29	6	20 fév.	10 déc.
2016	Ain defla	09 avril	09 avril	490	3	10 mars	10 janv.
	Chlef	09 avril	14 avril	540	3	11 avril	25 déc.
	Mostaganem	09 avril	/	7	5	20 fév.	15 déc.

## **4.2. Validation des modèles prévisionnels**

### **4.2.1. Application des modèles prévisionnels**

Au vue des données climatiques de chaque région, des trois années étudiées, ainsi que la situation de conduite de la culture de la pomme de terre, nous avons tenté de valider la capacité prévisionnelle des deux modèles prévisionnels (Période de SMITH et NegFry). Le but étant de lancer des avertissements et des alertes pour les périodes jugées critiques, afin d'utiliser rationnellement et de façon efficace les applications en fongicides. Donc, il s'agit de correspondre les données observées avec les paramètres de chaque modèle et d'en juger leur validité ; les résultats sont illustrés dans les figures 3.26, 3.27 et 3.28.

#### **4.2.1.1. Modèle de Negfry :**

**2013** : Ce modèle utilise les unités du mildiou pour recommander les traitements des fongicides. Il a prédit le risque de la maladie 8 fois dans la région de Chlef et 7 fois dans la région de Mostaganem. Par conséquent, il recommande 8 et 7 traitements respectivement, indiquant que les conditions pour le développement de la maladie étaient favorables.

**2014** : la pression de la maladie a été faible pour la région de Ain Defla et Chlef, où le modèle a confirmé cette situation par la recommandation de 5 et 4 traitements respectivement. Pour la région de Mostaganem, 8 traitements ont été recommandés.

**2016** : Au total, 5, 7 et 8 traitements ont été recommandés respectivement pour les régions d'Ain Defla, Mostaganem et Chlef. Représentant une pression de maladie moyenne à élevée.

#### **4.2.1.2. Période de Smith**

**2013** : Nous avons enregistré l'occurrence de 7 Périodes de Smith à 100% (full Smith) à Mostaganem : deux périodes ont été observées au début de la saison et cinq vers la fin, indiquant que les conditions climatiques étaient très favorables notamment vers la fin de saison. Pour la région de Chlef, 3 Période de Smith à 100% ont eu lieu



dont une au début de la saison et deux vers la fin de saison. Indiquant une pression moyenne de la maladie.

**2014** : Globalement, la pression de la maladie était faible durant cette année. En effet, une seule Période de Smith à 100% a été observée au début de saison dans la région d’Ain Defla et Mostaganem et deux Périodes dans la région de Chlef ; une au début et l’autre au milieu de saison.

**2016** : Deux Périodes de Smith à 100% ont été observées pour la région de Ain Defla et Chlef, une au milieu et l’autre vers la fin de saison, indiquant une pression moyenne à faible de la maladie. Une seule période a eu lieu à Mostaganem au milieu de saison.

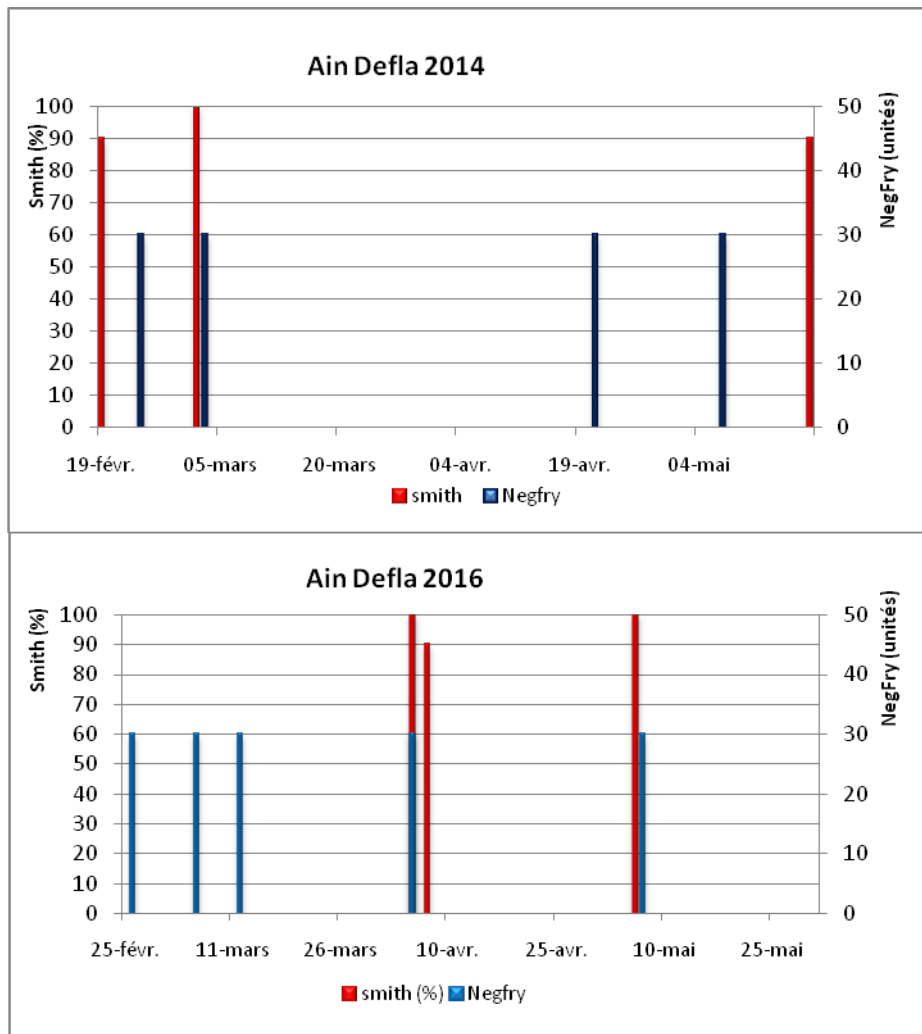


Figure 4.26 : Résultats des modèles prévisionnels dans la région de Ain Defla



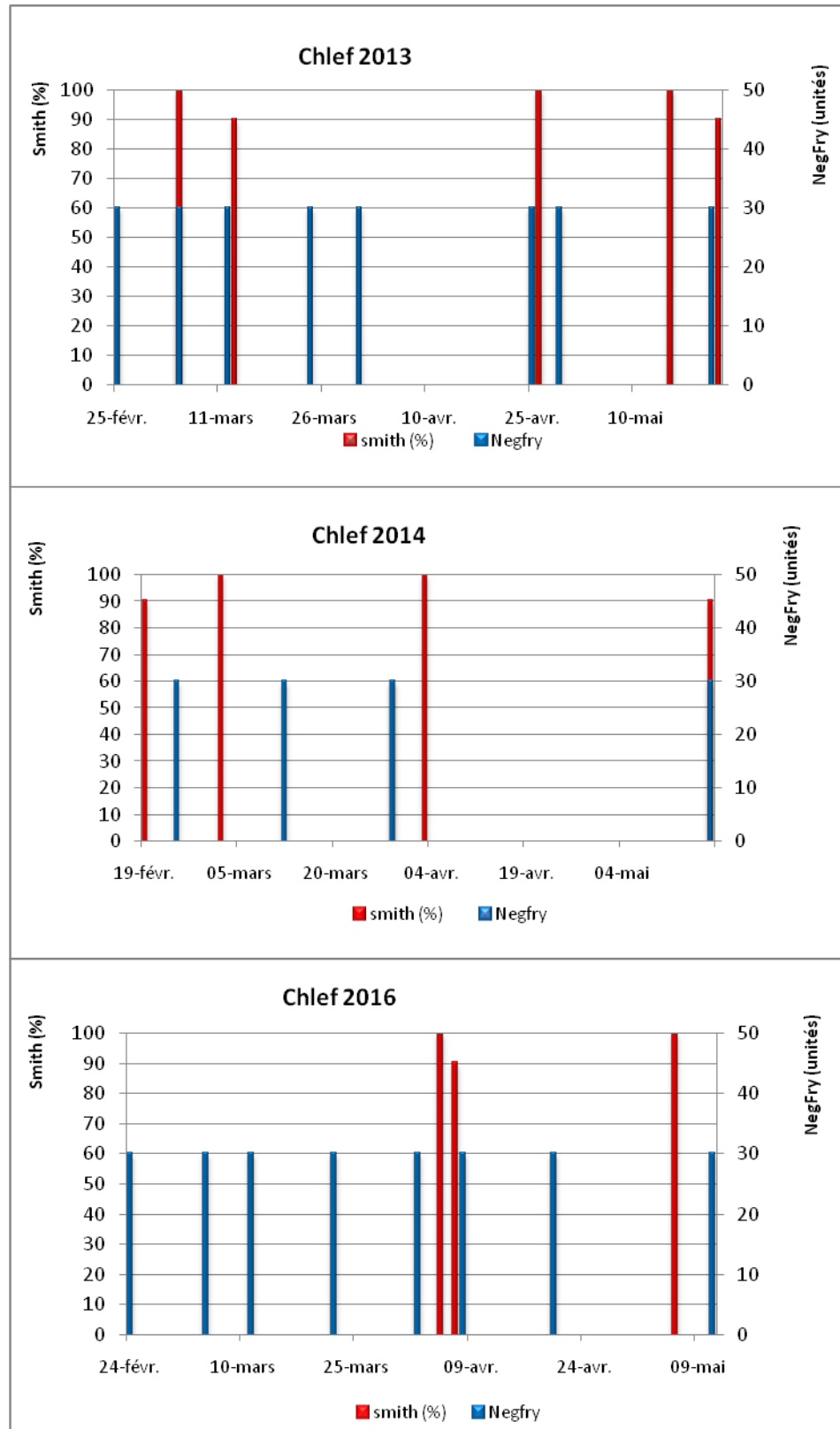


Figure 4.27 : Résultats des modèles prévisionnels dans la région de Chlef

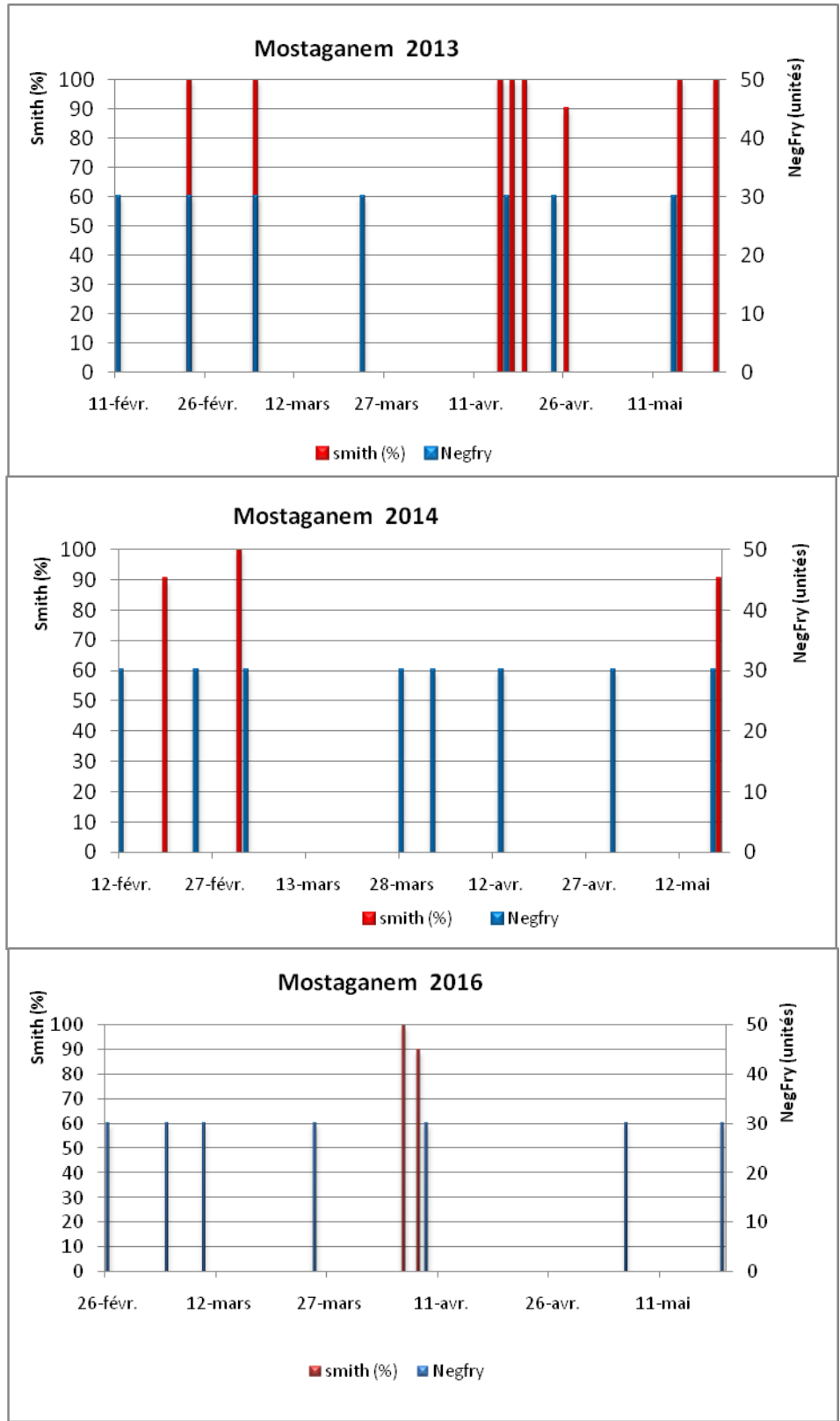


Figure 4.28: Résultats des modèles prévisionnels dans la région de Mostaganem.

#### 4.2.2. Evaluation des résultats des modèles prévisionnels

Le tableau 4.2 a été établi pour comparer et évaluer les recommandations des modèles avec les observations sur terrain. Pour le model période de Smith, nous avons comparé l'occurrence de la première période à 100% avec le début de la phase épidémiologique. En ce qui concerne le model NegFry, qui donne des recommandations sur le premier traitement et les traitements subséquents, nous l'avons comparé avec la date de premières symptômes et avec le début de la phase épidémiologique.

Tableau 4.2 : Evaluation de la capacité prévisionnelle des deux modèles

Année	Région	1 <sup>ère</sup> Périodes de Smith (100%)	1 <sup>er</sup> traitement de NegFry	1 <sup>er</sup> traitement de NegFry avant l'épidémie
2013	Chlef	-04 jours	-02 jours	+07 jours
	Mostaganem	+07 jours	+32 jours	+06 jours
2014	Ain Defla	+28 jours	+05 jours	+09 jours
	Chlef	/	+ 51 jours	/
	Mostaganem	/	+06 jours	/
2016	Ain Defla	+ 04 jours	/	+04 jours
	Chlef	+04 jours	+44 jours	+ 07 jours
	Mostaganem	/	+42 jours	/

Nous avons constaté que les prévisions ont été variables, allant de 04 jours avant l'occurrence de la maladie jusqu'à plus d'un mois. Le model de NegFry a montré une grande performance à prédire l'occurrence de l'épidémie, en lançant des avertissements de traitement entre quatre et neuf jours avant le début de l'épidémie. Mais en ce qui concerne la planification du premier traitement, les résultats de ce model étaient imprécis (il a lancé des avertissements avancés avec plus d'un mois par rapport à l'apparition des premières symptômes).

Pour le model de la Période de Smith, il a pu lancer des avertissements allant de quatre à sept jours avant l'occurrence de la maladie. Mais pour l'épidémie de

Chlef en 2013, le model a lancé un avertissement de quatre jours après le début de l'épidémie. La performance de ce modèle est moyenne et en fonction de la pression de maladie.

#### 4.3. Analyses des périodes à risque

L'analyse météorologique de l'historique d'attaque du mildiou est la première démarche pour la proposition d'un modèle prévisionnel. Les conditions favorables à l'apparition de la maladie sont une humidité relative élevée (> 90%) nécessaire pour la formation, la germination et l'infection des sporanges; alors qu'une HR > 80% est essentielle pour la propagation des lésions. La lumière extrême est nuisible pour *P. infestans* et parfois les sporanges peuvent être tués en raison de la lumière extrême. Le temps nuageux est propice au mildiou [80,81]. Le temps frais (12–15 ° C) et une humidité élevée (> 90%) avec de fortes rosées ou pluies alternant avec une période humide et chaude (18–20 °C) favorisent un développement rapide de la maladie. L'infection et le développement de la maladie sont observés dans une fourchette de 7,2 à 26,6 °C [107, 82, 83, 84]. Le risque d'infection peut varier entre les zones de production. Par conséquent, l'adaptation des modèles de prédiction à chaque zone géographique est nécessaire. [108]

Nous avons constaté que la plupart des épidémies du mildiou enregistrées surviennent après une période pluvieuse suivi par une nuitée chaude; Yang et Cao [109] ont considéré que la pluie est le principal facteur responsable de la dissémination des spores et des sporanges du mildiou. Durant la nuit, la température diminue par rapport au jour et l'humidité augmente, ce qui développe des conditions optimales pour la croissance de l'oomycète et favoriser la production de sporanges qui sont libérés les jours suivants. Ces conditions de basse température et d'augmentation de l'humidité relative la nuit, favorisent la sporulation du pathogène [110, 111]

Le détachement des sporanges se produit principalement en raison des changements d'humidité [112]. Les sporanges se forment à une humidité élevée et se dispersent à haute température et à faible humidité relative [108].

Notre analyse est focalisée sur cette période pluvieuse car les symptômes sont observés le matin suivant. Les pluies assurent un film d'eau sur le feuillage; nécessaire pour l'infection par les zoospores. En présence d'un ciel nuageux, durant et après la période pluvieuse, les températures nocturnes sont plus chaudes qu'en situation de ciel clair (conduisant à un écart thermique faible entre le jour et la nuit), ce qui prolonge la période favorable. Les nuages durant le jour, notamment le soir, procurent une luminosité idéale pour la maladie car en présence de rayons solaires le développement de la maladie est fortement inhibé. Après les pluies, l'humidité relative de l'aire augmente et persiste plusieurs heures consécutives en fonction de la quantité cumulée de pluie ce qui favorise la formation et libération des sporanges et la propagation de la maladie.

La période à risque est définie par un temps pluvieux, un ciel nuageux et une température nocturne minimale (vers 06H00 AM) supérieure ou égale à 10 °C. La longévité de la période favorable est calculée par le nombre d'heures d'humidité relative consécutives supérieures à 90%.

Selon les règles irlandaises et plusieurs autres modèles (Période de Smith, Simcast, Prognose..), les périodes avec des températures de 10 ° C et une humidité relative de 90% fournissent les conditions environnementales nécessaires considérées comme propices au mildiou de la pomme de terre. Ces périodes favorables sont divisées en [112] :

**Période de sporulation** : C'est l'étape initiale considérée comme nécessaire pour la formation des sporanges est fixée à un minimum de 12 heures consécutives;

**Période d'infection** : elle commence après la période de sporulation de 12 heures. Quand la surface de la plante est mouillée au début de la période d'infection, l'accumulation des heures effectives de mildiou (HEM) commencent directement après la période de sporulation. L'humidité du feuillage (surface) est considérée comme présente s'il y a eu une quantité considérable de précipitations ( $\geq 0,1$  mm) durant un intervalle de temps de 3 heures avant et 3 heures après les 12 heures consécutives à la sporulation. La période d'infection dure jusqu'à ce que les

conditions (températures  $\geq 10$  °C et humidité relative  $\geq 90\%$ ) ne soient pas interrompues pendant plus de 5 heures consécutives, nécessaires à la survie des spores.

Cucak et al [112], proposent un seuil de décision dynamique entre 04 et 11 heures (HEM) de mildiou en fonction de la fréquence des épidémies de la région d'intérêt. Par conséquent, le seuil d'action est fixé entre 16 heures et 23 heures de condition favorable basé sur la surveillance de la maladie et l'expérience d'analyse des périodes favorables. Le model de Critère d'Hutton propose un seuil d'action de 06 heures au lieu de 11 heures de période favorable pour deux jours consécutifs.

Nous avons calculé la longévité de la période favorable avant les premiers symptômes et le début de l'épidémie dans le but de connaitre quel est le seuil d'action qu'on peut adopter pour lancer un avertissement phytosanitaire. Le seuil est fonction de l'historique épidémiologique de la région et la qualité de l'inoculum. (tableau 4.3 jusqu'au tableau 4.12)

#### **4.3.1. Premiers symptômes:**

Généralement, Ils se manifestent durant les mois de février et de mars ; au début de l'émergence de la culture et avant le stade de fermeture des rangs. La réussite du programme des traitements repose sur la surveillance et la détection prématurée des lésions foliaires, qui sont de petites tailles localisées sur une ou quelques plantes. L'application d'un fongicide de contact pourrait maitriser l'évolution de ces tâches, car les basses températures (inférieures à 10 °C) inhibent leurs développement.

##### **4.3.1.1. Région d'Ain Defla 2014:**

Les premières tâches ont été détectées le 18 février, après une période humide de 12 heures et une température minimale de 09,9 °C.

Tableau 4.3 : Détail de la période favorable (Ain defla 2014)

Pluie				Période humide (HR>= 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	fin
18-19 /02	18H00	06H00	07.7 mm	18-19 /02	21H00	09H00	12 h	14.0	09.9	11
19/02	14H00	18H00	02.5 mm							

#### 4.3.1.2. Région de Chlef 2013:

Les premiers symptômes de mildiou ont été observés le premier mars suite à une période humide de 06 heures et une température minimale de 07,0 °C. Un fongicide de contact a été appliqué le même jour et l'épidémie a commencé le 20 mars.

Tableau 4.4 : Détail de la période favorable (Chlef 2013)

Pluie				Période humide (HR>= 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	Fin
28/02-01/03	18H00	06H00	09.2 mm	28/02-01/03	21H00	03H00	06 h	13.0	/	07.0
01/03	10H00	18H00	10.6 mm							

#### 4.3.1.3. Région de Mostaganem 2013:

Les premiers symptômes du mildiou ont été observés le 15 mars après une période humide de 06 heures et une température minimale de 11.0°C. Le premier fongicide (de contact) a été appliqué le 19 mars.

Tableau 4.5 : Détail de la période favorable (Mostaganem 2013)

Pluie				Période humide (HR $\geq$ 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	Fin
12-13/03	09H00	06H00	6.3 mm	12-13/03	21H00	03H00	06 h	17.0	/	11.0

#### 4.3.1.4. Région de Mostaganem 2014:

Les premières taches de mildiou ont été détectées le 18 février suite à une période humide de 13 heures accompagnées par des températures minimales de 13,5 °C. un fongicide de contact a été appliqué le 20 février.

Tableau 4.6 : Détail de la période favorable (Mostaganem 2014)

Pluie				Période humide (HR $\geq$ 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	Fin
18-19 /02	12H00	06H00	31.2 mm	18/02	06H00	19H00	13 h	11.8	/	13.5

Nous avons constaté que la période favorable la plus courte nécessaire pour l'apparition des premiers symptômes (phase de sporulation) est de 06 heures d'H R  $\geq$  90%, étalée par 03 heures de pluie avant et 08 heures de pluie après cette période (tableau.4.7). La période humide a duré 11 heures continues.

Les températures basses de mois de février et mars limitent le développement du mildiou en épidémie. Notant que la plupart des pluies qui prolongent la période favorable sont des pluies nocturnes, elles apportent un film d'eau sur feuilles et assurent des températures idéales pour le pathogène (température de la nuitée supérieure à 10 °C).



Tableau 4.7 : Récapitulatif des périodes favorables des premiers symptômes.

Région	années	dates	Heures consécutives d'HR $\geq$ 90%)	Durée de pluie avant et après la période favorable	
				Avant	Après
Ain Defla	2014	18-19 février	12 h	03 h	04 h
Chlef	2013	01 mars	06 h	03 h	08 h
Mostaganem	2013	12-13 mars	06 h	12 h	03 h
Mostaganem	2014	18 février	13 h	/	11 h

### 4.3.2. Epidémies

Durant notre étude, nous avons enregistré deux épidémies sévères en 2013 et 2016. Ces épidémies ont été observées durant le mois d'avril avec un décalage de quelques jours entre les trois régions, ceci est dû aux différentes dates de plantation et au climat. La sévérité et la vitesse d'évolution de l'épidémie diffèrent d'une région à l'autre. Le développement de l'épidémie était sévère et rapide dans la région de Chlef suivi par la région d'Ain Defla. Dans la région de Mostaganem, les vents, le type du sol sablonneux drainant et le système d'irrigation gout à gout réduisent et interrompent la période favorable et ralentissent la progression de la maladie par rapport aux autres régions d'étude. Ces caractéristiques pédoclimatiques de la région de Mostaganem donnent plus de temps aux agriculteurs pour agir par les traitements phytosanitaires.

#### 4.3.2.1. Epidémie d'Ain Defla

**Épidémie de 2016** : l'épidémie a commencé le 09 avril avec quelque plantes, les traitements (07 avril) avant cette date n'étaient pas efficaces pour arrêter la progression de la maladie. Le 13 avril, la sévérité de la maladie a atteint plus de 25% et 50% le 21 avril malgré l'utilisation des fongicides puissants comme Consentio (18 avril). L'irrigation a aggravée l'intensité de la maladie à partir le 21 avril pour atteindre

plus 90% le 09 mai. La période humide a durée 12 heures ; elle a commencé le soir et terminé le matin avec une température minimale 9,8 ° C. (tableau 4.8)

Tableau 4.8 : Détail de la période favorable (Ain Defla, 2016)

Pluie				Période humide (HR>= 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	Fin
07 /04	00H00	15H00	05.1 mm	07-08/04	20H00	08H00	12 h	12.6	09.8	14
08 /04	12H00	15H00	04 mm							

#### 4.3.2.2. Epidémies de Chlef

**L'épidémie de 2013** : La période humide a été enregistrée durant la nuitée de 19 au 20 mars, elle a durée 12 heures avec une température minimale de 13.8 °C. Les épidémies de la région de Chlef se distinguent par une progression rapide. Cette distinction est due à la température favorable pendant la période humide.

Tableau 4.9 : Détail de la période favorable (Chlef, 2013)

Pluie				Période humide (HR>= 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	Fin
19/03	18H00	23H00	01.9 mm	19-20/03	20H00	08H00	12 h	22.0	13.8	14.3
20/03	06H00	14H00	03.4 mm							

**L'épidémie de 2016:** Les premiers symptômes ont été observés le 09 avril. L'application d'un fongicide de contact le 11 avril était inefficace pour contrôler les premières taches du mildiou. L'irrigation a été entamée juste après ce traitement, cette situation a mené vers l'apparition de l'épidémie le 14/04 en l'absence des pluies mais avec l'irrigation et un ciel nuageux et des températures maximales diurnes entre 22 et 23 °C.

Nous avons remarqué que l'évolution de l'épidémie dans les champs voisins étaient lente et la situation était contrôlée parce qu'ils ont été traité par un fongicide puissant (contact et systémique) après les pluies entre 04 et 06 avril. L'application d'un fongicide systémique le 14 avril n'a qu'aggravé la situation car l'état hydrique de la culture (déshydratée) ne permet pas et la culture jaunissait par phytotoxicité.

Tableau 4.10 : Détail de la période favorable (Chlef, 2016)

Pluie				Période humide (HR $\geq$ 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	Fin
04-05 /04	18H00	06H00	14.7 mm	05-06/04	18H00	12H00	18 h	16.3	11.4	13.4
05 /04	14H00	19H00	05.6 mm	06/04	18H00	23H00	05 h	15.2	/	13.0
06/04	06H00	18H00	02.5 mm							

#### 4.3.2.3. Épidémie de Mostaganem

**L'épidémie de 2013:** Le début de l'épidémie a été noté le matin de 26 avril suite à deux nuitées humides. Les deux périodes humides durent 17 et 13 heures consécutives avec une température minimale de 12.9 °C. Le premier fongicide systémique (Ridomil) a été pulvérisé le 30 avril, la maladie s'est progressée rapidement après cette date notamment avec l'utilisation de l'irrigation par aspersion, sachant que la plupart des agriculteurs utilisent l'irrigation gout à gout (sol d'une texture sableuse).

Notant que les périodes humides enregistré à Mostaganem sont la plus longues mais ils conduisaient à des épidémies moins sévères par rapport la région de Chlef et Ain Defla car ces périodes sont interrompus par les vents (région côtière) qui conduisent au séchage rapide des films d'eau de feuillage. Parfois ces vents provoquent la cassure des feuilles comme dans le cas de la saison de 2013 et 2016.

Tableau 4.11 : Détail de la période favorable (Mostaganem, 2016)

Pluie				Période humide (HR $\geq$ 90%)				Température °C (Période humide)		
Date	début	fin	quantité	Date	début	fin	durée	Début	06H00	fin
24 /04	09H00	17H00	12.7mm	24-25/04	17H00	10H00	17 h	13.6	14	14.8
24-25 /04	18H00	06H00	26.7mm	25-26/04	17H00	08H00	13 h	15.0	12.9	16
25/04	12H00	14H00	07.1mm	26-27/04	20H00	03H00	07 h	12.1	/	12.7
25-26/04	18H00	05H00	07.4mm							

Nous avons conclu que la période favorable minimale qui précèdent les épidémies est de 12 heures d'HR $\geq$  90% allongée par 02 heures de pluie avant et 07 heures après. Donc un total de 21 heures des conditions humides continues effectives dont 12 heures durant la nuit (19-20 mars) et une heure avant la nuitée et 07 heures le jour suivant. La fin de cette période a été notée vers 14 H00, alors que les symptômes ont été détectés le matin. Ceci implique que les 07 heures de pluie de 20 mars avaient un rôle d'infection ; la dissémination des sporanges du mildiou.

Dans les conditions discontinues entre 02 et 04 jours, la phase de sporulation est accomplie alors que la phase d'infection est interrompue par la diminution d'humidité de l'air et la dessiccation des feuilles par l'évaporation et les rayons solaires. Ces dernières conditions affectent la viabilité des sporanges. Une fois les conditions d'humidité sont réunies par les pluies ou les eaux d'irrigation, les températures et l'éclairement sont favorables, la phase d'infection aura lieu. Dans l'épidémie de Chlef (2016), nous avons enregistré le début d'épidémie après 04 jours de la période favorable dans les rangs irrigués de la culture (entre 04 et 06 heures d'irrigation), en présence d'un ciel nuageux et une température idéale.

Tableau 4.12 : Récapitulatif des périodes favorables des épidémies.

Région	année	Date	Heures consécutives d'HR >= 90%)	Durée de pluie avant et après la période favorable	
				Avant	après
Ain Defla	2016	07-08 avril	12 h	15 h	03 h
Chlef	2013	19-20 mars	12 h	02 h	07 h
Chlef	2016	05-06 avril	23 h (18+ 05)	04 h	/
Mostaganem	2016	24-26 avril	30 h	08 h	/

#### 4.4. Résultat du comportement de quelques variétés au mildiou

Durant cette année, la pression de maladie était faible, les conditions climatiques étaient défavorable au développement du mildiou conduisant à l'échec de la contamination naturel (figure 4.29). Le feuillage de la culture de pomme de terre restait sain dans la parcelle expérimentale et même dans les champs voisins (tableau 4.13). Une moyenne de trois à quatre traitement anti mildiou a été pulvérisée dans les champs voisins.



Figure 4.29 : feuillage sain de la parcelle expérimentale

Tableau 4.13 : Sévérité du mildiou sur les variétés de pomme de terre.

Variété Date	Spunta A	Spunta E	Désiree E	Arizona A	Kondor E
04/04/2017	0	0	0	0	0
11/04/2017	0	0	0	0	0
18/04/2017	0	0	0	0	0
25/04/2017	0	0	0	0	0
02/05/2017	0	0	0	0	0
09/05/2017	0	0	0	0	0
16/05/2017	0	0	0	0	0
23/05/2017	0	0	0	0	0
30/05/2017	0	0	0	0	0

#### 4.5. Discussion générale

Durant notre travail, nous avons adopté un plan de surveillance du mildiou de la pomme de terre, pendant trois saisons de culture (2013, 2014 et 2016), au niveau de trois régions potentiellement productrices de pomme de terre (Ain Defla, Chlef et Mostaganem). Les objectifs sont d'ordre pratique, ayant pour finalité de contribuer avec nos résultats pour asseoir une stratégie de lutte, avec une meilleure efficacité, basée essentiellement sur la prévention et éventuellement sur l'utilisation des intrants chimiques de façon raisonnable intégrée, moins couteuse et moins polluante permettant de prévoir et de mieux contrôler, au préalable, les situations épidémiques. Le travail s'est articulé sur une étude phytopathologique classique, observations symptomatologiques sur terrain et réalisation des manipulations de laboratoire, permettant la confirmation et le suivi du pathogène causal (*Phytophthora infestans*). En parallèle à cette étape, nous avons tenté d'appliquer, selon une étude de modélisation, des modèles prévisionnels spécifiques au mildiou de la pomme de terre, proposés et appliqués avec succès, dans des pays connus par l'importance de cette culture et les dommages insurmontables de cette maladie. Le choix s'est porté sur deux modèles, à savoir NegrFy et Période de Smith. NegFry développé au Danemark [78]. Ces modèles sont validés dans de nombreuses régions de culture et intégrés dans des stratégies décisionnelles, comme BlightPro développé aux USA en 2015 [10,113]. Le modèle de Période de Smith est appliqué, déjà, en Grande Bretagne depuis 1956 et a fait l'objet de révision en 2017 [78,106].

La finalité de ce travail, d'une part est l'identification des facteurs de risques épidémiques (périodes climatiques favorables, agressivité des souches et le comportement des géotypes végétaux). D'autre part nous devons évaluer scientifiquement les recommandations des traitements générés par l'application de ces modèles prévisionnels. Les résultats de la surveillance du mildiou ont montré que les premiers symptômes de la maladie se manifestent à partir du 34<sup>ème</sup> jour (février et mars) après l'émergence de la culture. Une forte pression de la maladie peut survenir tout au long de la saison de croissance et par conséquent, le feuillage doit être protégé ou au moins surveillé dès l'émergence [114].

Les premiers symptômes sont variables, par leurs incidences, leurs dimensions et la vitesse de destruction de la plante. Les premières lésions du mildiou parfois sont nombreuses et de petite taille, parfois on compte quelques lésions, mais de grande taille. Il a été observé que les premières lésions affectent seulement les tiges, tandis que les feuilles restaient saines. Les symptômes sur tiges sont plus sévères en conditions élevées de températures et d'humidité. Ce constat est devenu presque habituel et même fréquents durant les dix dernières années [115,116]. Ces symptômes atypiques provoquent, après dessèchement, la cassure des tiges des plantes au niveau de la lésion, causant ainsi des pertes considérables. Cette situation s'est bien distinguée, durant la saison 2013 à Ain Defla et à Chlef. La cassure précoce des tiges engendre la repousse de certaines nouvelles tiges, conduisant à la production de tubercules de petites tailles. Le choix d'un fongicide (exemple : matière active ; oxathiapiproline) [78] qui protège mieux les tiges est déterminant dans la gestion de ces symptômes atypique.

Une telle variabilité dans l'expression des symptômes, pourrait avoir des conséquences sur la diversité des populations de *Phytophthora infestans*. En effet, dans la même région d'étude, Rekad et al [117] ont caractérisé les isolats collectés entre 2008 et 2014, où la majorité des isolats est de type sexuel A2, dont 89% étaient résistantes au fongicide métalaxyl. Le génotype 13-A2 (appelé blue 13) était prédominant avec une fréquence de 67%, suivi de 2-A1 (21%) et 23-A1 (5%). Le génotype 23-A1 n'a été détecté que dans des isolats de pommes de terre collectés en 2013 et 2014.

L'agressivité de *P. infestans* dans les Pays-Bas (ils approvisionnent environ 58% des besoins de notre pays en matière de semence) a augmenté au cours des 20 dernières années, résultant par des cycles de vie plus courts (de 30%), plus de lésions sur les feuilles, période d'infection plus courte (6 h au lieu de 8 h), un intervalle de température plus étalé (entre 5 °C et 27 °C au lieu de 10-25 °C) et plus d'occurrence des lésions sur les tiges [56, 118].



Trois clones émergents de *P. infestans* (37-A2, 36-A2 et 41-A2) ont augmenté leur fréquence combinée de 10% en 2016 à 40% de la population européenne en 2019. Ces clones récents déplacent les clones établis (13-A2, 6-A1 et 1-A1). Leurs fréquence dans les échantillons collectés entre 2016 et 2019, est réduit de 60 à 30%. Un quart de la population comprenait des isolats éphémères, génétiquement divers, compatibles avec l'inoculum d'origine oosporique [119]. La population de *P. infestans* est très dynamique conduisant à un risque d'infection variable d'une année à l'autre et un comportement variable avec la plante hôte. De tels paramètres compliquent la gestion de la maladie, par rapport au degré de risque qu'on doit adopter pour gérer les traitements (type de fongicide, dose et fréquence).

Les symptômes de l'alternariose se manifestent durant le mois de mars juste avant le mildiou. Les épidémies de l'alternariose sont fréquentes avant le premier traitement phytosanitaire. Nous avons observé la coexistence des lésions du mildiou et de l'alternariose sur la même feuille mais avec l'élévation des températures (fin mars début avril), les tâches de l'alternariose cessent leurs évolutions. A ce stade, les lésions du mildiou sont souvent maitrisables, par l'application de fongicides de contact (Manèbe, Mancozèbe, Propinèbe, Cuivre). Néanmoins, en présence de conditions favorables, ces foyers primaires pourraient se développer rapidement en situation épidémique.

La plupart des épidémies ont été enregistrées durant le mois d'avril en raison de la température nocturne qui devient favorable [120, 121]. Schepers et al [122], rapportent que les premiers symptômes du mildiou sont observés à partir de fin Mai et début juin et les épidémies ne sont initiées qu'avec l'augmentation des températures durant le mois de juillet, dans la plupart des pays EuroBlight. Notre étude a montré que les épidémies du mildiou peuvent être observées avant le mois d'avril à cause de l'avancement des dates de plantation, ou bien suite à l'enregistrement de périodes marquées par des températures dépassant la moyenne mensuelle habituelle. Cette situation est devenue récurrente ces dernières années, notamment avec l'occurrence des périodes sèches, la diminution de la pluviométrie et l'augmentation des températures même en périodes automnales et hivernales.

Les épidémies de Chlef sont les plus sévères, suivies par celles d'Ain Defla et de Mostaganem. Les régions de Chlef et d'Ain Defla, situées dans la plaine de Cheliff, ont presque le même climat, néanmoins Chlef se caractérise par des températures plus élevées dès le printemps. Cette propriété explique la vitesse de développement des épidémies dans cette région. Cucak et al, [112] indiquent que le développement de *P. infestans* dans des conditions météorologiques irlandaises est faible si la température est inférieure à 12 °C. Les épidémies de mildiou progressent même si les températures sont inférieures à 10 °C, pendant des périodes humides prolongées, même si le taux de progression est relativement faible [123,124].

L'épidémie de Chlef (2013) a été enregistrée suite à une période favorable la plus courte ; une période humide de 21 heures dont 12 heures d'humidité relative supérieure à 90% et une température minimale de 13.8° C. Cette température, qui a favorisé la progression rapide de la maladie, est en totale accord avec les recommandations de Cucak et al [112], qui ont évalué les règles de prévisions irlandaises, où ils ont proposé que le seuil de température doit être revu à la hausse (12 °C au lieu de 10° C) pour réduire l'utilisation des fongicides.

Les épidémies du mildiou dans les régions d'étude sont associées avec les périodes pluvieuses. Ces dernières apportent non seulement l'humidité nécessaire, mais aussi elles maintiennent la température nocturne supérieure à 10 °C et procurent l'éclairement idéal avec un ciel couvert. Les pluies suivies par un ciel dégagé le soir, où pendant la nuit, ne constitue aucun risque pour le développement d'une situation épidémique, car la température nocturne se refroidit rapidement. Rekkad [117], a conclu que la croissance mycélienne et la sporulation de *P. infestans* sont plus importantes en obscurité. Nous avons observé que la maladie progresse en l'absence de pluie, mais en présence d'un ciel nuageux. Cette progression a été limitée seulement dans les lignes irriguées à Ain Defla en 2011 [14] et à Chlef en 2016.

Le développement des épidémies du mildiou dépend considérablement de l'humidité et de la température pendant les différentes étapes du cycle de vie de l'oomycète. Les sporanges sont formés sur les surfaces inférieures de feuille et ils

infectent les tiges quand l'humidité relative est > 90 %. La sporulation peut se produire entre 3 et 26 °C, mais l'optimum se situe entre 18 et 22 °C. Les sporanges germent directement par l'intermédiaire d'un tube germinatif entre 21 et 26 °C. En-dessous de 18 °C, les sporanges produisent 6 à 8 zoospores qui exigent l'eau pour leur mobilité [78]. Au-dessus de 30 °C, la croissance est lente ou arrêtée dans le champ, mais sans perdre de vitalité (conservation), et l'oomycète peut recommencer à sporuler quand la température devient favorable et l'humidité relative est suffisamment élevée [24]. Chaque zoospore est capable d'initier une infection, qui explique pourquoi la maladie est plus grave en conditions fraîches et humides. Les nuits fraîches, les jours chauds, et les conditions humides prolongées de pluie et du brouillard peuvent avoir comme conséquence les épidémies de mildiou, où des champs entiers de pomme de terre sont détruits en moins de deux semaines [78].

La gestion efficace des traitements phytosanitaires implique l'application de fongicides puissants (curatifs), avant les périodes climatiques critiques, notamment durant le mois d'avril. Si les conditions climatiques et culturelles (temps pluvieux, stress hydrique de la culture, sol boueuse...) font un obstacle devant l'anticipation des traitements, l'utilisation d'un fongicide anti-sporulant juste après la période critique est nécessaire pour retarder l'entrée dans la phase de développement épidémiologique; à partir de laquelle le seul moyen de lutte (fongicide) devient inefficace. Le gain de temps pour que les agriculteurs réagissent aux moments opportuns, peut être obtenu par l'utilisation de variétés de pomme de terre moyennement résistantes à résistantes. Pour cela, la sélection de génotypes végétaux qui s'adaptent à nos besoins (sociaux et commerciaux) est un enjeu primordial pour réduire le nombre de traitements, tout en assurant leur efficacité.

Les fongicides ne sont généralement pas gérés de manière optimale par les petits agriculteurs, en raison de manque de connaissances sur plusieurs aspects de la gestion des maladies, y compris le diagnostic symptomatologique et les différences d'efficacité des fongicides disponibles. [125, 126].

Notre suivi de la maladie, nous a permis de distinguer deux types d'agriculteurs de pomme de terre par rapport à leurs ressources financières et les superficies cultivées ; donc deux attitudes de couvertures phytosanitaires pour le mildiou. Les agriculteurs à faible ressource, agriculture familiale (vivrière), cultivent de petite superficies (0,5 à 02 Ha) ; par rapport aux agriculteurs qui exploitent des superficies allant de 10 à 50 Ha, avec appui technique et l'aide de techniciens. Des mesures phytosanitaires exceptionnelles devraient être prises dans les régions dominées par l'agriculture vivrière, car différentes stratégies de traitements sont appliquées dans une superficie relativement petite, sans harmonisation (époque de traitement et type de fongicide) où les sources d'inoculum sont abondantes. Le risque de propagation du mildiou entre les champs est généralement fort. Ce risque, propre à nos régions d'étude, n'est pas pris en considération dans les systèmes de prévisions adoptés [127], d'où la nécessité d'établir des réajustements et de comptabiliser ce paramètre.

Plusieurs outils d'aide à la décision (OAD) sont développés dans le monde, pour contrôler le mildiou de la pomme de terre, notamment dans les pays développés, pour aider les agriculteurs à prendre des décisions dans l'application des fongicides anti-mildious [128, 99]. Cependant, ces systèmes de prévision ne sont généralement pas utilisés dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, car ils nécessitent des connaissances spéciales et / ou des équipements sophistiqués qui ne sont pas disponibles pour les agriculteurs à faible ressources [128]. L'efficacité des systèmes de prévision à prédire la maladie est variable d'une année à l'autre [123]. Avec les changements climatiques, ils nécessitent plus de maîtrise et d'évaluation dans les régions de culture de la pomme de terre [112,124, 129].

Les résultats de l'application des modèles prévisionnels (NegFry et Période de Smith) sont relativement acceptables par rapport aux périodes critiques précédant les épidémies, néanmoins sont imprécis par rapport aux premiers symptômes. Le modèle de NegFry a montré une bonne sensibilité à prédire les épidémies en donnant des avertissements entre 04 et 09 jours avant l'occurrence de la maladie. Les avertissements de mildiou sont généralement émis entre 2 à 6 jours à l'avance [112]. L'avertissement idéal s'il est de moins de 7 jours [130]. Pour cette raison, les

systèmes qui avertissent trop tôt en avance, sur une éventuelle occurrence de la maladie, peuvent être plus sûrs, mais plus coûteux.

Les deux modèles prévisionnels semblent inefficaces à prédire les premiers symptômes observés, en générant des avertissements entre 51 jours avant la date d'apparition de la maladie jusqu'à 02 jours après. La gestion des premières infections par l'installation d'un système de surveillance des primo-infections est une étape clé pour réduire les sources d'inoculum primaire et réussir la planification du programme de lutte. La visualisation des foyers primaires du mildiou sur une carte est exploitée avec succès à travers de nombreux pays. Dans tous les pays nordiques, les attaques du mildiou sont suivies à l'aide d'un système de surveillance, des cartes et tableaux avec des informations sur les premiers foyers de la maladie dans toute la région et sont disponibles, par voie d'internet, sur le Web-Blight [98]. Au Royaume Unis, les renseignements sur les foyers identifiés faisant partie de la lutte contre le mildiou et sont également disponibles via une carte [99].

Le modèle de NegFry a prouvé une bonne précision à prédire les épidémies, des avertissements entre 04 et 09 jours avant le début de l'épidémie ont été lancés. Les avertissements du modèle de Période de Smith étaient globalement variables ; réussis durant la saison de 2016, faibles durant la saison de 2014 et moyennement efficaces durant la saison de 2013 (- 04 jours et + 07 jours).

Le modèle Période de Smith a été initialement développé comme un indicateur de risques de détérioration globale à travers une vaste zone géographique du Royaume-Uni [131, 132]. Cependant, il est important de noter que l'apparition d'une période de Smith ne conduit pas nécessairement à l'application d'un fongicide sur la culture [133]. Ce modèle est indiqué pour les zones et les années avec une pression d'inoculum faible à moyenne [87].

La période de Smith n'a pas été développée comme un système de prévision dans le champ, mais comme un système régional d'alerte à distance en utilisant des stations météorologiques synoptiques [87]. Les critères pour la Périodes de Smith peuvent être trop généraux lorsqu'il est appliqué à une station

dans le champ, mais l'inverse serait vrai pour les modèles consacrés au champ (NegFry et Prognose), que leurs recommandations ne peuvent s'appliquer qu'aux plus courtes distances. Exactement à quelle distance par rapport à la topographie locale et des circonstances propres à chaque région [134,135].

Le nombre de traitements recommandé par le modèle NegFry est compris entre 04 et 08, comparable au nombre appliqué par les agriculteurs (02 à 05 traitements anti mildious). L'optimisation du programme de traitement (lutte) par les modèles prévisionnels, ne signifie pas nécessairement une réduction du nombre de traitements. Un modèle de prévision efficace pourrait conseiller au moins autant de traitements que les producteurs standards pulvérisent pendant les saisons avec des conditions favorables au mildiou [136].

L'accumulation journalière des unités de mildious ou les valeurs de sévérité pour prédire le mildiou ne convient pas aux conditions du nord ouest algérien. Les critères de risques définis dans notre étude sont stricts et durent d'un jour à deux jours au maximum, ils estiment moins de risque par rapport à l'accumulation des unités du mildiou. Un autre aspect qui devrait être réajusté dans notre modélisation prévisionnelle adaptée à nos régions.

Il y a une convergence entre les chercheurs à rejeter le seuil d'humidité relative de 90% comme un seuil de développement [137]. Ce seuil a été ajusté dans un certain nombre de modèles utilisés en Europe. Le modèle français Milsol, utilise un seuil de 86%; la gestion du mildiou danois utilise un seuil de 88% et les règles irlandaises sont de 88%. Il y a un certain nombre de raisons d'opter pour un risque plus faible du seuil d'humidité relative qui devrait être considéré comme favorable au mildiou, comme la précision des mesures, la distance entre la source de données météorologiques et la zone de production, la topographie de la zone, les différences physiologiques et phénologiques dans la densité des feuillages et les zones ombragées des champs de production [78,138,139].

Les pluies sont nécessaires pour l'apparition de la maladie mais sa quantité est peu importante, car nous avons observé qu'une quantité de pluie de 5,3 mm a

engendré une épidémie alors qu'une quantité de 19.8 mm a initié que les premiers symptômes dans la même saison et la même région (Chlef 2013). Donc, on ne peut pas adopter différents cumuls de pluie pour définir différents seuil de risque. L'évaporation par les vents, durant et après les périodes pluvieuses, est un paramètre clé d'évaluation de risque de maladie dans la région de Mostaganem (région côtière), pour connaître la durée d'humidité du feuillage effective.

La prévision des pluies à long terme (au-delà de 72 h) est imprécise en raison de sa forte variabilité [10]. Cette durée est insuffisante pour que les agriculteurs traitent leurs champs notamment ceux qui n'ont pas les moyennes nécessaires. Ajoutant que le climat de la région est semi-aride, et que l'application des fongicides est impossible dans le cas d'un stress hydrique (mois d'avril). Dans les situations où l'agriculteur nécessite une semaine pour terminer l'irrigation, le traitement est impossible qu'après la période pluvieuse.

Le critère qui nécessite plus de compréhension et d'analyse c'est le type et la durée des nuages. Les nuages qui couvrent la totalité du ciel et sur un espace plus grand, réduisent les radiations solaires, prolongent la viabilité des sporanges détachés. La viabilité des sporanges de *Phytophthora infestans* appartenant à des lignées clonales américaines a été réduite d'environ 95% après 1 h d'exposition au soleil [140].

L'intensité cumulée de radiation solaire a été utilisé pour développer un modèle prédisant la dispersion des sporanges en Grande Bretagne. L'importance de ce modèle est dans la détermination de début de traitement du mildiou, il pourrait améliorer la précision des systèmes de prévision [127]. Les OAD fonctionnent plutôt sous l'hypothèse d'un inoculum ubiquitaire et viable tout au long de la saison, et utilise généralement un ensemble de règles d'humidité pour prévoir le risque d'infection [99, 141]. Cette hypothèse d'inoculum ubiquitaire est erronée par les données des pièges des sporanges ; la quantité des sporanges dans l'air et leurs pic durant la saison [127]. Fall et al (2015) ont démontré que la présence d'inoculum aéroporté dans un endroit donné dépend des conditions météorologiques, de la topographie locale et de la phénologie de la végétation locale et des souches

associées [142]. Cette innovation dans l'agriculture de précision (utilisation des capteurs de sporanges aériens) pourrait être utilisée pour modifier les recommandations de pulvérisation en fonction de l'état d'inoculum aérien [127].

L'agriculture de précision est apparue comme une technologie révolutionnaire, qui transforme les données liées à l'agriculture en informations utiles pour la prise de décision agricole, comme la planification des applications de fongicides pour lutter contre le mildiou. Les avantages de L'adoption de telle technologie aiderait à limiter les pertes potentielles de culture et d'améliorer les rendements nets [143].

Le savoir acquis à partir des résultats de notre étude peut aider les producteurs des trois régions (Chlef, Ain Defla et Mostaganem) à prendre des bonnes décisions concernant la gestion durable de la culture de pomme de terre. Les laboratoires de recherche scientifique et les organes de recherche spécialisée (INRA et INPV) et les institutions de vulgarisation (DSA et chambre de l'agriculture) devraient être impliqués pour améliorer la situation actuelle de la gestion du mildiou, en prenant en considération les faibles ressources des petits agriculteurs. Leur contribution sera focalisée sur la vulgarisation des mesures préventives comme le diagnostic de la maladie et les connaissances des propriétés des fongicides disponibles sur le marché, ainsi la vulgarisation de géotypes de pomme de terres résistantes ou moyennement résistants. L'ajustement et l'adaptation d'un modèle prévisionnel, applicable dans nos régions, nécessite en premier lieu l'installation de stations météorologique de proximité, en fonction de la gravité de la maladie et des superficies cultivées. Aussi, l'implication des organismes scientifiques et de recherche devient plus qu'indispensable pour pallier aux épidémies de mildiou, notamment avec l'élargissement des régions de culture de pomme de terre en Algérie.



# **CONCLUSION**

## CONCLUSION

L'objectif de cette thèse est de définir les facteurs de risque épidémiologique du mildiou de la pomme de terre dans le nord ouest algérien, afin de mieux gérer la stratégie de lutte chimique dans cette région. Le suivi de la maladie, durant trois années dans trois régions différentes, nous a permis de distinguer deux phases de développement de la maladie : une phase d'infection primaire et la phase de dispersion (épidémie). Ces dernières ont des dates et des conditions climatiques différentes. La première s'exprime au début de la saison (Février - début Mars), les températures basses entravent le développement de la maladie du mildiou où les lésions primaires restent localisées. La deuxième phase se manifeste au milieu et vers la fin de la saison (Avril - début Mai), elle se caractérise par une progression rapide de la maladie notamment en présence d'une période pluvieuse chaude (température nocturne supérieure à 10 °C).

Les deux modèles testés ont donné des avertissements variables, qui peuvent être complémentaires et exploités en fonction des résultats de la surveillance. Lorsqu'une Période de Smith se produit et coïncide avec un conseil de traitement phytosanitaire par le modèle de NegFry durant le mois d'avril, il existe un fort risque qu'une épidémie est en cours de déclenchement. Cette dernière pourrait être évitée en appliquant un fongicide convenable. Les premières infections sont d'une importance primordiale pour réussir le programme de lutte phytosanitaire. Il est utile de répertorier tous les foyers d'infection, par le réseau de surveillance, dans une carte thématique, pour qu'on puisse estimer avec exactitude le risque qu'ils constituent.

L'analyse des périodes climatiques favorables qui précèdent les attaques du mildiou durant notre étude, a montré que le développement épidémiologique de la maladie est toujours lié à la durée des pluies. Cette période humide parfois est prolongée par l'irrigation, pendant le mois d'Avril et le début de Mai, ce qui aggrave l'épidémie. La durée de la pluviométrie ainsi que le type et la durée des nuages qui l'accompagnent, sont des paramètres faciles à comprendre pour simplifier les

prévisions des épidémies de mildiou en Algérie. L'aérobiologie de ce pathogène pourraient être exploitée avec les périodes climatiques favorables pour réussir la planification du premier traitement. L'évaluation des modèles prévisionnels peuvent être examinés par rapport à leurs sensibilités aux pics des sporanges dans l'air.

Le passage de l'agriculture actuelle (familiale et conventionnelle) vers l'agriculture de précision qui utilise la nouvelle technologie pour la prise de décisions de traitement chimique du mildiou implique :

- L'installation en urgence d'un réseau de stations météorologiques dans les zones potentielles de production.
- La conception d'une base de données sur l'historique d'attaque du mildiou, par saison et par année, pour une éventuelle révision et exploitation dans le développement des modèles prévisionnelles du mildiou.
- La diffusion de l'information aux agriculteurs concernant les mesures de contrôles chimiques via le téléphone, l'email, radios régionaux et les réseaux sociaux.
- La formation des producteurs sur le diagnostic de la maladie, l'utilisation des fongicides et sur le niveau de résistance des variétés.
- Le suivi de la dynamique et le comportement de la population de l'agent pathogène (variabilité génotypique et phénotypique) dans les zones de cultures de pomme de terre, notamment au nord-ouest algérien.
- Le développement d'une stratégie d'aide à la décision (OAD) englobant non seulement le modèle climatique, mais aussi le modèle de la résistance variétale et l'aérobiologie du pathogène.

# **ANNEXE**

## Appendice A

### FICHE TECHNIQUE DES FONGICIDES

#### 1. SERENO

**Caractéristique** : Fongicide pénétrant, translaminaire, à diffusion apicale

**Formulation** : granulé dispersible dans l'eau (Wg)

Matière active : Fénamidone 10% + mancozèb 50%

Matière active 1 : Mancozèbe

**Famille chimique** : Dithiocarbamate

**Mode d'action** : fongicide préventif de contact multisite inhibant la germination des spores

Matière active 2 : Fénamidone

Famille chimique : Imidazolinones

**Mode d'action** : action préventive sur la libération, la mobilité, l'enkystement et la germination des zoospores ainsi que sur la germination directe des sporanges. Il est aussi actif sur de nombreuses souches de phytophthora infestans et ainsi sur les types sexués A1 et A2.

**Dose homologuée** : 1 Kg/ha

#### 2. Ridomil

**Composition** : 40g/kg de mefenoxam (Metalaxyl-M) et 64/kg de mancozèbe .

**Formulation** : pépite.

**Caractéristique** : le Mefenoxam est absorbé par les parties vertes de la plante et commence à circuler dans la sève. Il détruit le mildiou présent dans la plante et empêche sa reproduction. Grâce à l'activité systémique du méfénoxam, toute la plante est protégée y compris les nouvelles feuilles apparues pendant les 10 jours qui

suivent les traitements. Le mancozèbe recouvre les surfaces des feuilles, la germination des spores transportées par les pluies et les vents sont inhibée. Ainsi la plante est protégée de l'intérieur et de l'extérieure pendant 10 jours.

### 3. **Procure 722 SL**

**Composition:** 722 g/l Propamocarb hydrochloride = 607 g/l Propamocarb

**Famille chimique:** Carbamate

**Type de formulation:** Liquide Soluble (LS)

**Mode d'action :** Le chlorhydrate de propamocarbe 722 g / l SL est un fongicide systémique à action protectrice, utilisé pour lutter contre les maladies du sol et des feuilles chez les légumes et les plantes ornementales. Le produit est très efficace lorsqu'il est appliqué comme désinfectant du sol et pulvérisation foliaire. Le produit est absorbé par les racines et transporté par voie ascendante vers les tiges et les feuilles.

### 4. **MELODY DUO**

**Type de produit :** fongicide de contact translaminaire

**Composition :** Iprovalicabre (5.5%) et Propineb(61.6%).

**Famille chimique :** Amino-acide Carbamate+ triazoles.

**Formulation :** poudre mouillable.

**Caractéristique :** l'Iprovalicabre est une nouvelle matière active présentant une puissante action contre la germination des spores et la développemnt du mycélium des champignons Omycètes (Phytophtoram Plasmopara, Péronospora) après sa pénétration dans les feuilles et par effet translaminaire, l' Iprovalicabre se répartit rapidement dans les tissus de la plante.il a une action préventive, curative et éradicante. Iprovalicabre : il agit par contact préventivement sur un grand nombre de champignon en viticulture, arboriculture, CM, PDT avec longue persistance d'action.décomposé en conditionacide ou fortement alcalines.

En plus de l'action Antimildiou, Melody-Duo maîtrise parfaitement l'antialternaria.

## **5. Maphyto-plus72**

**Type de produit** : fongicide systémique

**Composition** : 8% Metalaxyl et 64% mancozèbe

**Formulation** : poudre mouillable.

**Caractéristique** : est un fongicide systémique, pour le contrôle du mildiou sur plusieurs cultures. Il est recommandé sur d'autres maladies l'Alternaria et l'Anthracnose, il est rapidement absorbé par les parties vertes du végétal et il protège les surfaces des plantes.

## **6. CHAMP FLO**

**Type de produit** : fongicide de contact

**Composition** : Hydroxyde de cuivre (360g/l)

**Formulation** : liquide

**Caractéristique** : est un produit de contact à utiliser de façon préventif sur les parties aérienne du végétal. Les particules d'hydroxyde de cuivre du produit, environ 10 fois plus fines que celles des hydroxydes de cuivre classique, permettant d'augmenter considérablement la couverture du végétal. En apportant moins de cuivre par traitement, résistant au lessivage, au fort pouvoir couvrant, est compatible avec les soufres et tous les produits à base d'organique de synthèse sauf ceux contenant de thiamine et du foséthyl Al .le produit ne doit pas être mélanger avec les dithiophosphorés( malathion, Phosalon, phosmet metidation)ni avec des insecticides acides (dichloros, heptenophos, dimethoatphosphamidon) ni avec des fertilisant nitrique. La synergie du cuivre avec le mancozèbe est reconnue contre les bactérioses et d'autres maladies fongiques.

## 7. Consento

**Formulation :** SC (suspension concentrée).

**Matière active:** Fenamidone+Propamocarbe.

**Famille chimique :** Imidazolinones+Carbamates.

**Concentration :** 75 g/L + 375 g/L.

**Consento<sup>®</sup>** est un fongicide associant deux matières actives: le Fenamidone et le Propamocarbe. Le Fenamidone possède un effet translaminaire à action multi-sites. Il agit de manière préventive en inhibant la germination des spores, il est doté d'une action curative en stoppant le développement du mycélium et en inhibant la formation et la dissémination des zoospores. Le Propamocarbe agit de manière systémique. Il protège les nouvelles pousses. Il a un effet préventif et curatif. Il inhibe la sporulation des champignons.

## 8. Previcur<sup>®</sup> Energy

**Matière active:** propamocarbe + fosétyl-aluminium

**Type de formulation:** concentré soluble (SL)

**Propriétés:** 530 g/l + 310 g/l

**Le mode d'action:**

1/ Le propamocarbe: Substance active dotée de propriétés systémiques ascendantes (voie acropétale) et translaminaires agissant d'une manière préventive et curative sur les champignons. Il perturbe la formation des membranes cellulaires des pathogènes et affecte le développement du mycélium et la sporulation.

2/ Le fosétyl-aluminium : Substance à double systémie (système ascendante et descendante) ayant une action préventive et curative contre les champignons. Il présente à la fois une action directe sur les champignons en stoppant l'infection et en évitant la pénétration des pathogènes dans la plante,



ainsi qu'un effet indirect en renforçant les réactions de défenses naturelles des plantes.

Grâce à la systémie de ces deux substances actives, le propamocarbe et le fosétyl-aluminium, **Previcur<sup>®</sup> Energy** garantit :

- Une protection des jeunes pousses.
- Une excellente activité préventive et curative.
- Une flexibilité d'emploi.
- Une bonne résistance au lessivage.

## **9. Infinito**

**Matière active:** fluopicolide + propamocarbe HCl

**Type de formulation:** Suspension concentrée (SC)

**Propriétés:** 62,5 g/l + 625 g/l

**Le mode d'action:**

**Infinito<sup>®</sup>** est caractérisé par une biodisponibilité et un pouvoir de diffusion remarquables qui lui permettent d'agir rapidement sur le mildiou :

**Le fluopicolide** est doté d'un pouvoir translaminaire puissant et d'une systémie acropétale (redistribution via le xylème). Sa biodisponibilité immédiate permet d'assurer une excellente activité préventive en agissant sur plusieurs étapes du cycle de développement du mildiou, en éliminant aussi les spores avant et pendant leur germination ou leur pénétration et ce en quelques minutes seulement après traitement.

**Le propamocarbe HCl** est très hygroscopique, il est absorbé rapidement par la plante, entraînant avec lui une partie du fluopicolide ; il se diffuse de manière régulière à travers tous les organes de la culture grâce à ses propriétés systémiques.

**Infinito**<sup>®</sup> assure une excellente protection des différentes parties de la plante pendant toute sa période de sensibilité au mildiou.

**Infinito**<sup>®</sup> s'applique à la dose de 1,5 l/ha en préventif à raison de 2 applications par campagne. La 1<sup>re</sup> application est préconisée en phase de croissance active et la seconde en fin de cycle.

Les atouts majeurs de l'**Infinito**<sup>®</sup> :

- **Rapidité d'action** : Infinito<sup>®</sup> est caractérisé par une biodisponibilité et un pouvoir de diffusion remarquables qui lui permettent d'agir rapidement sur le mildiou.
- **Gestion de la résistance** : Grâce à ces deux substances actives à modes d'action différents, Infinito<sup>®</sup> garantit une efficacité de haut niveau et assure une meilleure gestion de la résistance.
- **Protection préventive de longue durée (des feuilles et des tiges)** : grâce à ces propriétés translaminaire et systémique, Infinito<sup>®</sup> offre une protection allant de 7 à 14 jours selon la pression de la maladie.
- **Protection des nouvelles pousses.**
- **Moins dépendant des conditions climatiques** : Infinito<sup>®</sup> se fixe rapidement et fermement sur les feuilles. Deux heures après son application, son activité n'est plus influencée par la pluviométrie et par la température.
- **Qualité des tubercules garantie** : grâce à son pouvoir anti-sporulant, Infinito<sup>®</sup> permet la protection des tubercules contre les attaques de mildiou en réduisant significativement la viabilité et la mobilité du matériel infectieux présent sur les feuilles et pouvant contaminer le sol.

## **Appendice B**

### MILIEUX DE CULTURES

#### **Milieu de Petits pois:**

- Autoclave (15 minutes 120 ° C) 120 g de petits pois surgelés dans 1 litre d'eau distillée.
- Filtré le bouillon de pois pour enlever tous les excès de liquide à partir de pois.
- Remplir le volume de bouillon à 1 litre.
- Pour agar agar pois ajouter 15 g à 1 bouillon de litre.
- Autoclave pendant 20 minutes 120 ° C.

#### **Eau agar**

- 15g agar / 1 litre d'eau distillée
- autoclave pendant 15 min 120 ° C.

#### **Milieu PDA (Potato Dextrose Agar)**

- Faire bouillir 200 g de pomme de terre
- Filtrer et récupérer le jus
- Mettre 20 g d'agar et 20 g de Glucose.
- Ajuster jusqu'à 1000 ml avec de l'eau distillée
- Stériliser 20 mn à 120°C

## Appendice C

### RESUME DE CALCUL DES MODELES PREVISIONNELS

Tableau 1 : Résumé de calcul pour la région de Chlef (2013, 2014, 2016)

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de sévérité journalière	cumulé saisonier	
2013	février	2	7	7	
2013	février	3	6	13	
2013	février	6	6	19	
2013	février	8	6	25	
2013	février	9	4	29	
2013	février	11	6	35	
2013	février	12	6	41	
2013	février	14	2	43	
2013	février	20	7	50	
2013	février	21	5	55	
2013	février	22	7	62	
2013	février	23	6	68	
2013	février	24	4	72	
2013	février	25	4	76	
2013	février	28	6	82	
2013	mars	1	6	88	
2013	mars	2	2	90	
2013	mars	4	7	97	
2013	mars	5	7	104	100
2013	mars	6	5	109	

2013	mars	7	7	116	
2013	mars	8	5	121	
2013	mars	9	5	126	
2013	mars	12	7	133	
2013	mars	13	3	136	90
2013	mars	19	6	142	
2013	mars	20	7	149	
2013	mars	23	7	156	
2013	mars	24	6	162	
2013	mars	31	6	168	
2013	avril	4	5	173	
2013	avril	5	7	180	
2013	avril	16	5	185	
2013	avril	24	7	192	
2013	avril	25	7	199	
2013	avril	26	7	206	100
2013	avril	27	5	211	
2013	avril	28	7	218	
2013	avril	29	5	223	
2013	mai	2	5	228	
2013	mai	14	7	235	
2013	mai	15	7	242	100
2013	mai	16	7	249	
2013	mai	21	7	256	
2013	mai	22	5	261	90
2013	mai	27	6	267	

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de severité journalière	cumulé saisonier	
2014	février	1	2	2	
2014	février	4	6	8	
2014	février	9	7	15	
2014	février	10	6	21	
2014	février	11	6	27	
2014	février	12	7	34	
2014	février	13	5	39	
2014	février	18	6	45	
2014	février	19	6	51	100
2014	février	20	5	56	
2014	février	21	2	58	
2014	février	22	6	64	
2014	février	24	7	71	
2014	février	25	3	74	
2014	février	26	6	80	
2014	mars	1	7	87	
2014	mars	2	5	92	100
2014	mars	5	5	97	
2014	mars	13	2	99	
2014	mars	15	1	100	
2014	mars	21	5	105	
2014	mars	25	7	112	
2014	mars	26	6	118	
2014	mars	27	6	124	

2014	mars	29	7	131	
2014	avril	2	4	135	
2014	avril	3	7	142	100
2014	avril	13	5	147	
2014	mai	17	7	154	
2014	mai	18	5	159	90

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de severité journalière	cumulé saisonier	
2016	2	7	7	7	
2016	2	8	2	9	
2016	2	9	5	14	
2016	2	11	7	21	
2016	2	12	5	26	
2016	2	14	7	33	
2016	2	15	6	39	
2016	2	16	6	45	
2016	2	17	1	46	
2016	2	21	5	51	
2016	2	24	5	56	
2016	2	25	7	63	
2016	2	26	7	70	
2016	2	27	6	76	
2016	2	28	1	77	
2016	3	1	2	79	
2016	3	5	7	86	

2016	3	6	5	91	
2016	3	7	6	97	
2016	3	8	6	103	
2016	3	9	6	109	
2016	3	10	6	115	
2016	3	11	6	121	
2016	3	12	3	124	
2016	3	16	7	131	
2016	3	17	5	136	
2016	3	21	7	143	
2016	3	22	6	149	
2016	3	23	7	156	
2016	3	25	5	161	
2016	3	28	5	166	
2016	4	1	6	172	
2016	4	2	6	178	
2016	4	4	7	185	
2016	4	5	7	192	100
2016	4	6	7	199	
2016	4	7	6	205	90
2016	4	8	6	211	
2016	4	9	2	213	
2016	4	20	5	218	
2016	5	5	5	223	
2016	5	6	6	229	100
2016	5	10	4	233	
2016	5	11	5	238	



Tableau 2 : Résumé de calcul pour la région de Ain Defla (2014, 2016).

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de severité journalière	cumulé saisonier	
2014	février	1	2	2	
2014	février	7	5	7	
2014	février	8	1	8	
2014	février	9	5	13	
2014	février	10	6	19	
2014	février	11	6	25	
2014	février	12	3	28	
2014	février	13	5	33	
2014	février	18	7	40	
2014	février	19	6	46	90
2014	février	20	2	48	
2014	février	22	6	54	
2014	février	24	6	60	
2014	février	25	2	62	
2014	février	26	6	68	
2014	février	28	4	72	
2014	mars	1	7	79	
2014	mars	2	7	86	100
2014	mars	3	5	91	
2014	mars	13	4	95	
2014	mars	25	7	102	
2014	mars	26	2	104	

2014	mars	27	6	110	
2014	avril	2	5	115	
2014	avril	3	1	116	
2014	avril	21	6	122	
2014	mai	1	5	127	
2014	mai	2	5	132	
2014	mai	3	5	137	
2014	mai	4	5	142	
2014	mai	5	5	147	
2014	mai	6	2	149	
2014	mai	7	2	151	
2014	mai	8	2	153	
2014	mai	17	7	160	
2014	mai	18	5	165	90
2014	mai	20	5	170	

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de severité journalière	cumulé saisonier	
2016	février	7	7	7	
2016	février	8	3	10	
2016	février	11	7	17	
2016	février	12	5	22	
2016	février	14	7	29	
2016	février	15	6	35	
2016	février	16	4	39	
2016	février	18	2	41	

2016	février	22	6	47	
2016	février	25	7	54	
2016	février	26	7	61	
2016	février	27	6	67	
2016	février	28	4	71	
2016	février	29	1	72	
2016	mars	5	6	78	
2016	mars	6	6	84	
2016	mars	7	6	90	
2016	mars	8	6	96	
2016	mars	9	6	102	
2016	mars	10	6	108	
2016	mars	11	6	114	
2016	mars	12	6	120	
2016	mars	16	6	126	
2016	mars	21	6	132	
2016	mars	22	6	138	
2016	mars	23	6	144	
2016	avril	4	5	149	
2016	avril	5	7	156	100
2016	avril	6	7	163	
2016	avril	7	5	168	90
2016	avril	8	7	175	
2016	mai	5	6	181	
2016	mai	6	7	188	100
2016	mai	7	5	193	
2016	mai	10	4	197	

2016	mai	31	7	204	
------	-----	----	---	-----	--

Tableau 3 : Résumé de calcul pour la région de Mostaganem (2013, 2014, 2016)

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de severité journalière	cumulé saisonier	
2013	janvier	1	4	4	
2013	janvier	2	6	10	
2013	janvier	3	6	16	
2013	janvier	4	3	19	
2013	janvier	5	2	21	
2013	janvier	6	2	23	
2013	janvier	7	2	25	
2013	janvier	8	2	27	
2013	janvier	9	2	29	
2013	janvier	10	2	31	
2013	janvier	11	2	33	
2013	janvier	12	2	35	
2013	janvier	13	6	41	
2013	janvier	14	6	47	
2013	janvier	15	2	49	
2013	janvier	16	7	56	
2013	janvier	17	5	61	
2013	janvier	18	5	66	
2013	janvier	19	7	73	
2013	janvier	21	7	80	
2013	janvier	22	6	86	

2013	janvier	23	4	90	
2013	janvier	26	6	96	
2013	janvier	27	2	98	
2013	février	2	7	105	
2013	février	6	6	111	
2013	février	8	6	117	
2013	février	9	6	123	
2013	février	11	6	129	
2013	février	12	6	135	
2013	février	16	4	139	
2013	février	17	4	143	
2013	février	20	6	149	
2013	février	22	6	155	
2013	février	23	6	161	100
2013	février	24	6	167	
2013	février	28	6	173	
2013	mars	1	6	179	
2013	mars	4	7	186	
2013	mars	5	7	193	100
2013	mars	9	5	198	
2013	mars	12	7	205	
2013	mars	19	6	211	
2013	mars	23	7	218	
2013	avril	5	7	225	
2013	avril	12	6	231	
2013	avril	14	6	237	
2013	avril	15	6	243	100

2013	avril	16	6	249	
2013	avril	17	6	255	100
2013	avril	18	6	261	
2013	avril	19	6	267	100
2013	avril	20	5	272	
2013	avril	24	7	279	
2013	avril	25	7	286	
2013	avril	26		286	90
2013	avril	28	7	293	
2013	mai	2	5	298	
2013	mai	11	5	303	
2013	mai	14	7	310	
2013	mai	15	7	317	100
2013	mai	20	6	323	
2013	mai	21	7	330	100
2013	mai	27	5	335	

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de severité journalière	cumulé saisonier	
2014	janvier	5	5	5	
2014	janvier	6	1	6	
2014	janvier	7	1	7	
2014	janvier	8	1	8	
2014	janvier	11	7	15	
2014	janvier	12	6	21	100
2014	janvier	13	6	27	

2014	janvier	14	2	29	
2014	janvier	15	6	35	
2014	janvier	16	3	38	90
2014	janvier	17	6	44	
2014	janvier	18	7	51	100
2014	janvier	19	6	57	
2014	janvier	22	6	63	
2014	janvier	23	6	69	
2014	janvier	24	6	75	
2014	janvier	25	5	80	
2014	janvier	26	5	85	
2014	janvier	27	2	87	
2014	janvier	28	6	93	
2014	janvier	29	6	99	
2014	janvier	30	6	105	
2014	février	1	3	108	
2014	février	3	2	110	
2014	février	4	2	112	
2014	février	5	2	114	
2014	février	7	5	119	
2014	février	9	7	126	
2014	février	11	6	132	
2014	février	12	3	135	
2014	février	13	5	140	
2014	février	16	5	145	
2014	février	17	5	150	
2014	février	18	5	155	

2014	février	19	3	158	90
2014	février	20	2	160	
2014	février	21	2	162	
2014	février	23	1	163	
2014	février	24	6	169	
2014	février	25	2	171	
2014	février	26	5	176	
2014	février	28	2	178	
2014	mars	1	7	185	
2014	mars	2	6	191	100
2014	mars	3	5	196	
2014	mars	5	5	201	
2014	mars	6	5	206	
2014	mars	10	2	208	
2014	mars	13	6	214	
2014	mars	14	6	220	
2014	mars	15	2	222	
2014	mars	16	2	224	
2014	mars	18	2	226	
2014	mars	19	5	231	
2014	mars	20	2	233	
2014	mars	21	2	235	
2014	mars	22	2	237	
2014	mars	23	5	242	
2014	mars	25	7	249	
2014	mars	26	1	250	
2014	mars	27	2	252	



2014	avril	2	7	259	
2014	avril	3	5	264	
2014	avril	5	5	269	
2014	avril	9	5	274	
2014	avril	10	5	279	
2014	avril	12	5	284	
2014	avril	13	5	289	
2014	avril	15	6	295	
2014	avril	16	5	300	
2014	avril	18	5	305	
2014	avril	19	5	310	
2014	mai	1	5	315	
2014	mai	7	5	320	
2014	mai	8	5	325	
2014	mai	9	5	330	
2014	mai	10	5	335	
2014	mai	11	5	340	
2014	mai	17	7	347	
2014	mai	18	5	352	90
2014	mai	27	5	357	

année	mois	jour	NegFry		Période de Smith
			valeurs de sévérité journalière	cumulé saisonnier	
2016	janvier	1	5	5	
2016	janvier	2	5	10	
2016	janvier	9	7	17	
2016	janvier	13	2	19	
2016	janvier	14	2	21	
2016	janvier	15	7	28	
2016	janvier	18	1	29	
2016	janvier	19	5	34	
2016	janvier	20	6	40	
2016	janvier	21	2	42	
2016	janvier	22	1	43	
2016	janvier	26	5	48	
2016	janvier	27	5	53	
2016	janvier	28	6	59	
2016	janvier	29	3	62	
2016	janvier	30	6	68	
2016	janvier	31	2	70	
2016	février	1	2	72	
2016	février	3	2	74	
2016	février	8	5	79	
2016	février	9	2	81	
2016	février	15	6	87	
2016	février	16	6	93	
2016	février	17	2	95	

2016	février	26	7	102	
2016	février	27	6	108	
2016	février	28	6	114	
2016	février	29	7	121	
2016	mars	1	2	123	
2016	mars	3	2	125	
2016	mars	4	5	130	
2016	mars	5	7	137	
2016	mars	6	6	143	
2016	mars	7	6	149	
2016	mars	8	6	155	
2016	mars	9	6	161	
2016	mars	12	1	162	
2016	mars	17	1	163	
2016	mars	18	1	164	
2016	mars	19	5	169	
2016	mars	20	5	174	
2016	mars	21	6	180	
2016	mars	22	6	186	
2016	mars	24	5	191	
2016	mars	25	1	192	
2016	avril	4	7	199	
2016	avril	5	7	206	100
2016	avril	6	6	212	
2016	avril	7	5	217	90
2016	avril	8	5	222	
2016	avril	19	5	227	

2016	avril	20	5	232	
2016	avril	28	5	237	
2016	avril	29	5	242	
2016	avril	30	5	247	
2016	mai	5	5	252	
2016	mai	6	7	259	
2016	mai	7	5	264	
2016	mai	10	6	270	
2016	mai	11	5	275	
2016	mai	18	5	280	

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. FAOSTAT, 2020. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural statistics. Available at: [http://faostat,fao.org/](http://faostat.fao.org/).
2. *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>.
3. FAOSTAT, 2008. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural statistics. Available at: <http://faostat,fao.org/>.
4. Haverkort, A., Boonekamp, P., Hutten, R., Jacobsen, E., Lotz, L., Kessel, G., Visser, R., Van der Vossen, E., 2008. Societal costs of late blight in potato and prospects of durable resistance through cisgenic modification. *Potato research* 51, 47–57.
5. Beninal, L., Corbière, R., Kedad, A., Andrivon, D., Bouznad, Z., 2009. A2 mating type, metalaxyl resistance and complex virulence profiles: common features in some *Phytophthora infestans* isolates from Algeria [Conference poster].
6. Abderrahmane, O., Benchabane, M., 2017. Epidemiology and risk factors of potato late blight in Algeria [Conference poster]. Presented at the Proceedings of the Sixteenth EuroBlight Workshop, 14-17 May 2017, Aarhus, Denmark, Applied Arable and Vegetable Research (Praktijkonderzoek AGV), pp. 223–226.
7. Rekad FZ., Galfout A., Andrivon D & Bouznad Z. (2010). Phenotypic and genotypic characteristics of Algerian isolates of *Phytophthora infestans*. PPO-Special Report;14. p.291-6.

8. Rekad, F.Z., Cooke, D.E.L., Puglisi, I., Randall, E., Guenaoui, Y., Bouznad, Z., Evoli, M., Pane, A., Schena, L., di San Lio, G.M., 2017. Characterization of *Phytophthora infestans* populations in northwestern Algeria during 2008–2014. *Fungal biology* 121, 467–477.
9. Fry, W.E., 2012. Principles of plant disease management. Academic Press.
10. Small, I.M., Joseph, L., Fry, W.E., 2015. Development and implementation of the BlightPro decision support system for potato and tomato late blight management. *Computers and Electronics in Agriculture* 115, 57–65.
11. Skelsey, P., 2008. Multi-scale modeling of potato late blight epidemics.
12. Aylor, D.E., Schmale III, D.G., Shields, E.J., Newcomb, M., Nappo, C.J., 2011. Tracking the potato late blight pathogen in the atmosphere using unmanned aerial vehicles and Lagrangian modeling. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 251–260.
13. Campbell, C.L., Madden, L.V., 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons.
14. Abderrahmane, O., 2012. Modélisation épidémiologique du mildiou de la pomme de terre dans la région d'Ain Defla. Mémoire de magister, Université Saad Dahlab de Blida. 93p.
15. Ministère de l'Agriculture de Développement Rural, 2018. Données statistiques : Evolution de la superficie, de la production et du rendement de la pomme de terre en Algérie.
16. FAOSTAT, 2007. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural statistics. Available at: <http://faostat,fao.org/>.
17. FAOSTAT, 2019. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Agricultural statistics. Available at: <http://faostat,fao.org/>.

18. Tria, M., Chehat, F., 2013. Typologie des producteurs de pomme de terre dans la région d'Ain de la. Les cahiers du CREAD 103, 107–136.
19. CNCC. 2010. Catalogue des variétés de pomme de terre. *Editée par le CNCC* : 253p
20. Alexopoulos, C.J., Mims, C.W., Blackwell, M., 1996. Introductory mycology. John Wiley and Sons.
21. Large, E.C., 1940. The advance of the fungi. The advance of the fungi.
22. Rakotonindraina, T., Corbière, R., Chatot, C., Pinchon, V., Dubois, L., Arousseau, 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.
23. 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.
24. Agrios, 2005. Plant pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press. 922 p.
25. Lepoivre, P. 2003. Phytopathologie. 119 p. De Boeck, Bruxelles.
26. 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.
27. 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.



28. 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.
29. Judelson, H.S., Blanco, F.A., 2005. The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer. *Nature Reviews Microbiology* 3, 47–58.
30. Björn, A., 2007. Sexual reproduction in *Phytophthora infestans*: Epidemiological consequences. Doctorate thesis. Swedish university of agriculture science, 31 p.
31. Kroon, L., Bakker, F., Van Den Bosch, G., Bonants, P., Flier, W., 2004. Phylogenetic analysis of *Phytophthora* species based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Fungal Genetics and Biology* 41, 766–782.
32. Avila-Adame, C., Gomez-Alpizar, L., Zismann, V., Jones, K.M., Buell, C.R., Ristaino, J.B., 2006. Mitochondrial genome sequences and molecular evolution of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Current genetics* 49, 39–46.
33. Rossman, A.Y., Palm, M.E., 2006. Why are *Phytophthora* and other oomycota not true fungi? *Outlooks on Pest Management* 17, 217.
34. Thurston, H. D., Schltz, O. 1981. Late blight in compendium of potato disease. Hooker Eds. APS Press Michigan (USA). pp 40-42.
35. Ribero, O., 1983a. Physiology of asexual sporulation and spore germination in *Phytophthora*. *Phytophthora. Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology* 55–70.
36. Erwin, D.C., Ribeiro, O.K., 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. American Phytopathological Society (APS Press).

37. 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.
38. Turkensteen, L., Flier, W., Wanningen, R., Mulder, A., 2000. Production, survival and infectivity of oospores of *Phytophthora infestans*. *Plant Pathology* 49, 688–696.
39. 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.
40. Judelson, H.S., Blanco, F.A., 2005. The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer. *Nature Reviews Microbiology* 3, 47–58.
41. Clément, J.A.J., 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.
42. 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.
43. 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.
44. Schumann, G.L. and C. J. D'Arcy. 2005.. Late blight of potato and tomato. <http://www.apsnet.org/Education/lessonsPlantPath/lateblight/text.htm>.
45. Robertson, N., 1991b. challenge of *Phytophthora infestans*. *Advances in plant pathology*.

46. Fry, W., 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular plant pathology* 9, 385–402.
47. Aylor, D.E., 2003. Spread of plant disease on a continental scale: role of aerial dispersal of pathogens. *Ecology* 84, 1989–1997.
48. 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.
49. Andrivon, D., 1995. Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology* 85: 1053-1056p.
50. Drenth, A., Janssen, E.M., Govers, F., 1995. Formation and survival of oospores of *Phytophthora infestans* under natural conditions. *Plant pathology* 44, 86–94.
51. Andersson, B., Sandström, M., Strömberg, A., 1998. Indications of soil borne inoculum of *Phytophthora infestans*. *Potato research* 41, 305–310.
52. Yuen, J., Andersson, B., 2013. What is the evidence for sexual reproduction of *Phytophthora infestans* in Europe? *Plant Pathology* 62, 485–491.
53. 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.
54. 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.

55. 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.
56. 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.
57. 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.
58. 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.
59. Platt, R., 2008. Maladies de la pomme de terre causées par des oomycètes. *Cahiers Agricultures* 17, 361–367.
60. Dominique, B., 2009. Les maladies de la tomate. Identifier, connaître, maîtriser. Ed. Quae, c/o Inra. Versailles.
61. Grünwald, N.J., Sturbaum, A.K., Montes, G.R., Serrano, E.G., Lozoya-Saldaña, 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.

62. 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.
63. Ribero, O., 1983b. Physiology of asexual sporulation and spore germination in *Phytophthora*. *Phytophthora. Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology* 55–70.
64. Boccas, B., 1979. La reproduction sexuelle chez les phytophthora, ses voies et quelques unes de ses conséquences génétiques.
65. 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.
66. Erwin, D.C., 1983. *Phytophthora: its biology, taxonomy, ecology, and pathology* American Phytopathological Society Press, St. St Paul, Minnesota.
67. Rousselle, P., Robert, Y., Crosnier, J.-C., 1996. *La pomme de terre: production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations*. Editions Quae.
68. Deumier J M, Gaucher, D, et Gravouelle J -M. 2004. *Culture de la pomme de terre de conservation*. Arvalis. Paris. 72p.
69. PIERRE et Tilma et ROMUALD Fontaine- fiche phytosanitaire, août. 2015. *culture maraichères, mildiou de la tomate et de la pomme de terre*.
70. ARVALIS – Institut du végétal, janv. 2002. *Fertilisation azotée de la pomme de terre*, 128 p.
71. ARVALIS – Institut du végétal, sept. 2008. *Gestion de l'eau et irrigation de la pomme de terre*, 48 p.

72. Schepers, H., 2007. <https://agro.au.dk/forskning/internationale-platforme/euroblight/>
73. Stannard M. & Haccart C., 2001, Le mildiou ne nous fait pas peur. Groupement des agriculteurs biologiques du Nord-Pas-de Calais. GABNOR, Agric. N° 49.
74. 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.
75. Hyre, R., 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reporter* 38, 245–253.
76. Beaumont, A., 1947. The dependence on weather of the dates of potato blight epidemics. *Transactions of the British Mycological Society* 31, 45–53.
77. Krause, R., Massie, L., Hyre, R., 1975. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter* 59, 95–98.
78. Hansen J. G. 2020. <http://agro.au.dk/forskning/internationale-platforme/euroblight/control-strategies/late-blight-fungicide-table/>
79. Vaibhav, K., Singh, V., Shailbala, S., 2013. FORECASTING MODELS FOR POTATO LATE BLIGHT MANAGEMENT - A REVIEW 104:88,90p.
80. 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.
81. Deweille, 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.
82. Harrison, J.G., 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage. *Plant Pathology* 41: 384-416p.

83. Rotem, J., Cohen, Y. et al., 1971. Relativity of limiting and optimum inoculum loads, Wetting durations and temperatures for infection by *Phytophthora infestans*. *Phytopathologie* 61 : 275-278p.
84. 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.
85. Singh, R.S., 2007. *Plant Diseases*. 8th ed., Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi. pp. 169-170.
86. Mizubuti, E. S. G. & Fry, W. E. 2006. Potato late blight. In: COOKE, B. M., GARETH JONES, D. & KAYE, B. (eds.) *The Epidemiology of Plant Diseases*. Springer Netherlands.
87. Smith, L.P. (1956) Potato blight forecasting by 90% humidity criteria. *Plant Pathology*, 5, 83-87p.
88. Keane, T. (1995) Potato blight warning practice in Ireland, in *Phytophthora infestans 150* (eds L.J. Dowley, E. Bannon, L.R Cooke, T. Keane and E. O'Sullivan). EAPR, Dublin., pp. 191-200.
89. Ullrich J. and Schrodter H., 1966. Das problem der vorhersage des aufretens der kartoffelkrautfaule ((*Phytophthora infestans*) und die moglichkeit seiner losung durch eine negativprognose. *Nachrichtenblatt Dt. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig)* 18:33-40.
90. Nugent, T.J. (1950). Three years experience forecasting late blight in tidewater, Virginia. *Plant Dis. Repr. Suppl.*, 190: 9-13.
91. Fohner, G.R., Fry, W.E. and White, G.B. (1984) Computer simulation raises question about timing protectant fungicide application frequency according to a potato late blight forecast. *Phytopathology*, 74, 1145-1147.

92. Wallin, J.R. (1962) Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in the United States and Canada. *American Potato Journal*, 39, 306-312.
93. Sharma, K. K. 2000. Influence of meteorological factors on potato late blight development in North western Plains Of India J Indian Potato Assoc.,27: 1-3
94. Henshall, W.R.; Shtienberg, D. and Beresford, R.M. (2006). A new potato late blight disease prediction model and its comparison with two previous models. *New Zealand Plant Protec.*, 59: 150-154.
95. Minogue, K.P., Fry, W.E., 1981. Effect of temperature, relative humidity and rehydration rate on germination of dried sporangia of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 71, 1181–1184.
96. Johnson, D., R. Alldredge, and P. Hamm. 1998. Expansion of potato late blight forecasting models for the Columbia basin of Washington and Oregon. *Plant Disease* 82(6): 642–645
97. De Wolf, E. D. & Isard, S. A. 2007. Disease cycle approach to plant disease prediction. *Annual Review of Phytopathology*, 45, 203-220.
98. Boccas, B. 1978. La reproduction sexuelle chez les *Phytophthora*. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences naturelle. Université de Paris-sud ORSAY.P : 23-24
99. Cooke L R, Schepers HTAM, Hermansen A, Bain R A, Bradshaw N J, Ritchie F, Shaw D S, Evenhuis A, Kessel G J T , Wander J G N , Andersson B , Hansen J G , Hannukkala A , Nærstad R , Nielsen B J (2011) Epidemiology and Integrated Control of Potato Late Blight in Europe. *Potato Research* 54:183–222
100. Laudéo J.A., Castélo M. & Forbes G., 1997, Sreening for horizontal resistance to late blight in population B. Specialised technology document. Pp. 11.



101. Bettahar, N., Benamara, A. A., Kettab, A. & Douaoui, A. (2009). Risque de pollution nitratée des zones semi-arides : cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 22 (1), 69–78. <https://doi.org/10.7202/019824ar>.
102. Jeda. F. (2006). Cartographie de la précipitation du bassin hydrographique Cheliff. Université des Sciences et technologie Houari Boumediene, ALGER.
103. Smahi. El. (2001). Etude du phénomène d'ensablement sur le plateau de Mostaganem et proposition d'aménagement. Es-Sénia, Oran: IGAT.
104. O.N.M. 2016. Office National de Météorologie.
105. Siobhan R. D., Skelsey P., Cooke D. 2017. The Hutton Criteria: a classification tool for identifying high risk periods for potato late blight disease development in Great Britain. In Proceedings of sixteenth Euroblight Workshop, 14-17 May 2017. Aarhus, Denmark. PPO Special Report No. 18: 53-58.
106. Fry, W. E., Apple, A. E., Bruhn, J. A. & 1983. Evaluation of potato late blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. *Phytopathology*, 73, 1054–1059.
107. Hammond-Kosack, K. E., Parker, J. E., 2003. Deciphering plant-pathogen communication, fresh perspectives for molecular resistance breeding. *Curr. Opin. Biotechnol.* 4: 177-187.
108. Lal M. 2016. Fungal foliar diseases of potato and their management (Course on disease and pest management in potato compiled and produced by Sanjeev Sharma, Vinay Sagar, Ravinder Kumar, Sridhar Jandrajupalli, Dhiraj Kumar Singh ) published by ICAR-CPRI Shimla. pp. 22-27.
109. Escuredo, O., Seijo-Rodríguez, A., Rodríguez-Flores, M.S., Seijo, M.C. 2019. Decision Support Systems for Detecting Aerial Potato *Phytophthora infestans* Sporangia in Northwestern Spain. *Agron. J.* 111:354–361. doi:10.2134/agronj 2018.02.0124

110. Singh, B.P., and S. Sharma. 2013. Forecasting of potato late blight. *Int. J. Innov. Hort.* 2:1–11.
111. Singh, V.K., Shailbala, and V.S. Pundhir. 2013. Forecasting models for potato late blight management- A review. *Agric. Reviews.* 34:87–96.
112. Cucak, M.; Sparks, A.; Moral, R.A.; Kildea, S.; Lambkin, K.; Fealy, R. 2019. Evaluation of the 'Irish Rules': The Potato Late Blight Forecasting Model and Its Operational Use in the Republic of Ireland. *Agronomy*, 2019, 9, 515. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090515>.
113. Hensen, J.E.; Andersson, B. and Hermansen, A. (1995). NEGFY-A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. pp 201-208. In: *Phytophthora infestans* 150: (L.J. Dowley *et al* editors). Boole Press, Ltd. Dublin. pp 382.
114. Kromann, P., Taipe, A., Perez, W. G., and Forbes, G. A. 2009. Rainfall thresholds as support for timing fungicide applications in the control of potato late blight in Ecuador and Peru. *Plant Dis.* 93:142-148.
115. Lal M, Sharma S, Yadav S, Kumar S. 2019. Management of Late Blight of Potato <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72472>. p85.
116. Lal M. 2016. Fungal foliar diseases of potato and their management (Course on disease and pest management in potato compiled and produced by Sanjeev Sharma, Vinay Sagar, Ravinder Kumar, Sridhar Jandrajupalli, Dhiraj Kumar Singh ) published by ICAR-CPRI Shimla. pp. 22-27.
117. 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 d'Algérie. Thèse de Doctorat, université ibn badis mostaganem:85p.

118. Chmielarz, M., Sobkowiak, S., Debski, K., Cook, DEL., Brurberg, MB., Śliwka, J., 2014. Diversity of *Phytophthora infestans* from Poland. *Plant Pathology* 63: 203-211.
119. Hansen J. G. 2019. Potato blight tracking in Europe. [www.EuroBlight.net](http://www.EuroBlight.net).
120. Dowley, L.J.; Grant, J.; Gri\_n, D. Yield Losses Caused by Late Blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) in Potato Crops in Ireland. *Ir. J. Agric. Food Res.* 2008, 47, 69–78.
121. Cooke, L.R. Current problems in the chemical control of late blight: The Northern Ireland experience. *Phytophthora* **1991**, 337–348.
122. Schepers H, Hausladen H, Grønbech Hansen J, Nielsen B & Abuley I, Andersson B, Liljeroth E & Edin E, Bain R, Ritchie F, Gaucher D, Ivanović Ž & Blagojević J, Kildea S, Filippov A & Kuznetsova M, Hannukkala A, Eikemo H & Nærstad R, Osowski J, Puidet B, Musa T, Gulbis G & Dorbe A, Ronis A, Vogelaar K, Vanhaverbeke P, 2017. Epidemics and control of early & late blight, 2015 & 2016 in Europe. Euroblight workshop.
123. Grünwald, N.J.; Montes, G.R.; Saldaña, H.L.; Covarrubias, O.A.R.; Fry, W.E. Potato Late Blight Management in the Toluca Valley: Field Validation of SimCast Modified for Cultivars with High Field Resistance. *Plant Dis.* 2002, 86, 1163–1168.
124. Hermansen, A.; Amundsen, T. Evaluation of Old Potato Late Blight Forecasting Rules During 1994–1999 in Fields with the New *Phytophthora infestans* Population in Norway. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 2003, 53, 118–128.
125. Ortiz, O., Thiele, G., Forbes, G., 2003. Farmers' knowledge and practices on relation to fungicide use for late blight control in the Andes. In: Fernandez-Northcote, E.N. (Ed.), *Proceedings of the International Workshop., GILB Latin American Workshops*. Presented at the Complementing Resistance to Late

Blight (*Phytophthora Infestans*) in the Andes. International Potato Center, Cochabamba, Bolivia.

126. Andrade-Piedra, J.L., Caceres, P.A., Pumisacho, M., Forbes, G.A., 2009. Humans: the neglected corner of the disease tetrahedron - developing a training guide for resource-poor farmers to control potato late blight. *Acta Hortic.* 834, 111–122.
127. Skelsey, P.; Dancey, S.R.; Preedy, K.; Lees, A.K.; Cooke, D.E.L. Forecasting the spread of aeri ally transmitted crop diseases with a binary classifier for inoculum survival. *Plant Pathol.* **2018**, 67, 920–928.
128. Fry, W.E., Forbes, G.A., Shtienberg, D., 2009. Late blight simulation and forecasting: bells and whistles or real tools for researchers and farmers? *Acta Hortic. ISHS, Proc. Third Int. Late Blight Conf.* 834, 69–78.
129. Taylor, M.C.; Hardwick, N.V.; Bradshaw, N.J.; Hall, A.M. 2003. Relative performance of five forecasting schemes for potato late blight (*Phytophthora infestans*) I. Accuracy of infection warnings and reduction of unnecessary, theoretical, fungicide applications. *Crop Prot.* 22, 275–283.
130. Hansen JG, Nielsen BJ, Bødker L, Andersson B, Yuen J, Wiik L, Hermansen A, Nærstad R, Le VH, Brurberg MB, Hannukkala A, Lehtinen A (2006) Blight management in the Nordic countries. In: Westerdijk CE, Schepers HTAM (eds) Proceedings of the ninth workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PPO special report no 11, pp 39–52
131. Nielsen BJ, Hansen JG, Pinnschmidt H, Nærstad R, Hermansen A, Le VH, Hannukkala A (2007) Release and viability of spores of potato late blight (*Phytophthora infestans*) under field conditions. In: Schepers HTAM (ed) Proceedings of the tenth workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. PPO special report no. 12, pp 211–219.

132. Hinds, H., Mitchell, L., 1999. Potato late blight forecasting— commercial use of Plant-plus in the UK in 1998. In: Schepers, H.T.A.M., Bouma, E. (Eds.), Proceedings of the European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight—PAV Special Report No.5. Applied Research for Arable Farming and Field Production of Vegetables, Lelystad, pp.103–114 .
133. Keane, T. (1995) Potato blight warning practice in Ireland, in *Phytophthora infestans 150* (eds L.J. Dowley, E. Bannon, L.R Cooke, T. Keane and E. O’Sullivan). EAPR, Dublin., pp. 191-200.
134. Hims, M.J., Taylor, M.C., Leach, R.F. *et al.* (1995) Field testing of blight risk prediction models by remote data collection using cellphone analogue networks, in *Phytophthora infestans 150* (eds L.J. Dowley, E. Bannon, L.R Cooke, T.Keane and E. O’Sullivan). EAPR, Dublin, pp. 220-225.
135. Bradshaw, N. J., S. J. Elcock, J. A. Turner, and N. V. Hardwick. 2000. Are potato blight fungicides being used rationally? Proceedings British Crop Protection Council Conference.
136. Doster, M.A., Fry, W.E., 1991. Evaluation by computer simulation of strategies to time metalaxyl applications for improved control of potato late blight. *Crop Prot.*10, 209–214.
137. Lehsten, V.; Wiik, L.; Hannukkala, A.; Andreasson, E.; Chen, D.; Ou, T.; Liljeroth, E.; Lankinen, Å.; Grenville-Briggs, L. **2017**. Earlier occurrence and increased explanatory power of climate for the first incidence of potato late blight caused by *Phytophthora infestans* in Fennoscandia. *PLoS ONE*, 12, e0177580.
138. Sunseri, M.A., Johnson, D.A., Dasgupta, N., 2002. Survival of detached sporangia of *Phytophthora infestans* exposed to ambient, relatively dry atmospheric conditions. *Am. J. Potato Res.* 79, 443–450.

139. Hyre, R. A. 1950. Spore traps as an aid in forecasting several downy mildew type diseases. *Plant Dis. Rep. (Suppl.)* 190:14-18.
140. Mizubuti ESG, Aylor DE, Fry WE (2000) Survival of *Phytophthora infestans* sporangia exposed to solar radiation. *Phytopathology* 90(1):78–84
141. Hansen JG, 2014. DSS Overview. [<http://euroblight.net/control-strategies/dss-overview/>]. Accessed 6 July 2017.
142. Fall ML, Van der Heyden H, Brodeur L, Leclerc Y, Moreau G, Carisse O, 2015. Spatiotemporal variation in airborne sporangia of *Phytophthora infestans*: characterization and initiatives towards improving potato late blight risk estimation. *Plant Pathology* 64, 178–90.
143. Liu, Y., Langemeier, M. R., Small, I. M., Joseph, L., & Fry, W. E. 2017. Risk Management Strategies using Precision Agriculture Technology to Manage Potato Late Blight. *Agronomy Journal*, 109(2), 562–575.